

ConvertirPDF – Non Enregistré

ConvertirPDF – Non Enregistré

ConvertirPDF – Non Enregistré

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE



**INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET
DES TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES
I.N.A.T.A-A.
DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE**

N° d'ordre :
N° de série :

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MAGISTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES
Option : Technologie Alimentaire

UTILISATION D'AMELIORANTS DE L'EXPANSION GAZEUSE DANS LA FABRICATION SANS GLUTEN DE PAINS LEVES TRADITIONNELS

présenté par : Fairouz DJEGHIM

Soutenu le :26/11/2015

Devant le jury composé de :

Président : ZIDOUNE M N.

Professeur I.N.A.T.A.A. U.F.M.C

Rapporteur : BENATALLAH Le.

M.C/A I.N.A.T.A.A. U.F.M.C

Examineurs : AGLI A.

Professeur I.N.A.T.A.A. U.F.M.C

OULAMARA H.

Professeur I.N.A.T.A.A. U.F.M.C

Année universitaire 2015-2016

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Dieu le tout puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, volonté et courage pour réaliser ce travail.

Je tiens dans un premier temps à remercier vivement les membres du jury de ce mémoire :

Sincères remerciements ...

À Madame BENATALLAH Leïla, Maître de conférences à l'I.N.A.T.A.A. pour avoir accepté de diriger ce travail, pour le soutien, les conseils avisés et l'attention apportée tout au long de sa réalisation.

Hommages respectueux, ..

À Monsieur ZIDOUNE Mohammed Nassereddine, Professeur à l'université de Constantine et Chef de l'équipe Transformation et Elaboration des Produits Agro-alimentaires (T.E.P.A) du laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (I.N.T.A.A.) de m' avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette these ainsi de m'avoir prodigué de précieux conseils tout au long de ce travail.

Vifs remerciements...

À Monsieur Agli N. professeur à l'I.N.A.T.A.A., Université frères Mentouri Constantine pour avoir accepté d'évaluer mon travail et de m'honorer par sa participation au jury de ce mémoire.

À Madame OULAMARA H. Professeur à l'I.N.A.T.A.A., Université frères Mentouri Constantine pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie également...

M^{elle} BOURKOVA Hayet maître assistant /B à l'I.N.A.T.A.A., Université frères Mentouri Constantine pour son savoir, expérience, et aide pour la concrétisation pratique de ce travail.

J'exprime ma gratitude à toute l'équipe du Laboratoire (L.N.T.A) au sein du quel j'ai réalisé la partie expérimentale de mon travail.

Chaleureux remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et à tous les amis, collègues, magisters, ainsi que les personnels administratifs et techniques de l'I.N.A.T.A .A. pour leurs encouragements et leur amitié.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes

Dedicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, qui étaient pour moi un magnifique modèle de labeur et de persévérance et qui ont veillé à ce que je sois ce que je suis devenu.

A mes chères sœurs Asma et Samiha.

A mon chère frère Issam.

A mes chères neveux Iyed et Anas.

A toute ma famille DJEGHIM et KELLOU.

A tous mes amies Ibtissem, Sihem, Rokia, Nabila et Imen.

A tous ceux qui m'aiment ...

SOMMAIRE

Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des Abréviations	
INTRODUCTION	1
Partie Bibliographique	
CHAPITRE 1. MALADIE CÉLIAQUE	
1. DEFINITION	3
2. HISTORIQUE	3
3. SYMPTOMES	3
4. TRAITEMENT	4
CHAPITRE 2.COMPOSITION DES PRODUITS DE PANIFICATION	
1. CEREALES	4
1.1. BLE DUR.....	4
1.1.1 Composition du grain de blé.....	5
1.1.2. Semoule de blé dur.....	5
1.1.3. Classification de la semoule de blé dur.....	6
1.1.4. Critères de qualité de la semoule.....	7
1.1.5. Composition de la semoule de blé dur.....	7
1.1.6. Interactions Lipides -protéines – amidon.....	10
1.2. RIZ.....	10
1.2.1. Différents types de riz.....	11
1.2.2. Classification du riz.....	12
1.2.3. Composition du grain de riz.....	12
1.3. MAÏS.....	12
1.3.1. Utilisation et intérêt nutritionnel.....	12
1.3.2. Classification de maïs.....	13
1.3.3. Composition du grain et de la semoule de maïs.....	13
2. LEGUMINEUSES	14
2.1. Composition et qualité nutritionnelle des légumineuses.....	14
2.2. Fêverole.....	14
2.2.1. Classification botanique de la fêverole	14
2.2.2. Composition de la fêverole.....	15
2.2.3. Valeur nutritionnelle de la fêverole.....	15
3. ASSOCIATION DES CEREALES ET DES LEGUMINEUSES	16
CHAPITRE 3 .PAIN PLAT	
1. PAINS PLATS	16
1.1. Pains plats traditionnels algériens	17
1.1.1. Kesra.....	18
1.1.2. <i>Khobz eddar</i>	18
1.2. Ingrédients de pain plat	18
1.3. Ingrédients additionnels.....	20
CHAPITRE 4 .PROCESSUS DE PANIFICATION	
1. De la semoule au pain	22
1.1. Pétrissage.....	23
1.2. Fermentation	23
1.3. Cuisson	24
2. PRODUCTION DE GAZ ET ALVEOLATION	25
3. MECANISMES D’EXPANSION	25
CHAPITRE 5. PAIN SANS GLUTEN	
1. PAIN SANS GLUTEN	26
2. AMELIORANTS	26

3. AMELIORANTS NATURELLES DU VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN SANS GLUTEN	27
4.TANG ZHONG (FARINE PREGELATINISE)	27
3. TRANSFORMATION DE L'AMIDON	28
<i>Matériel et Méthodes</i>	27
1. SONDAGE	29
1.1. DESCRIPTION DE LA PHASE PRATIQUE DU SONDAGE.....	29
1.2. OBJECTIF DE SONDAGE.....	29
1.3. PREPARATION ET REALISATION DE LA COLLECTE.....	29
1.3.1. Cadre d'étude	29
1.3.2. Unité de sondage	30
1.3.3. Rédaction d'un questionnaire	31
1.3.4. Technique de distribution des questionnaires.....	32
1.3.5. Durée de sondage.....	32
1.4. PLAN DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE.....	32
1.5. RESULTATS ET DISCUSSION.....	32
1.5.1. Matières premières entrant dans la fabrication du pain <i>khobz eddar</i>	31
1.5.2. Utilisation des œufs.....	31
1.5.3. Type de la semoule choisi.....	33
1.5.4. Quantités des ingrédients pour préparer 1 pain	33
1.5.5. Etapes de fabrication du pain <i>khobz eddar</i> à base de blé dur d'après le sondage.....	34
1.5.6. Diagramme traditionnel type de fabrication du pain <i>khobz eddar</i> d'après le sondage.....	36
2. MATIERE PREMIERE	38
2.1. MATIERE PREMIERE POUR LA PREPARATION DU <i>KHOBZ EDDAR</i>	38
2.1.1. Semoule du blé dur (témoin).....	40
2.1.2. Semoules exemptes en gluten.....	40
2.2. MATIERE PREMIERE POUR LA PREPARATION DU FARINE P.T(TANG ZHONG)	41
3. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES MATIERES PREMIERES	41
3.1. COMPOSITION GLOBALE DES MATIERES PREMIERES.....	41
3.1.1. Teneur en eau	41
a) Teneur en eau des semoules et des farines.....	41
b) Teneur en eau des œufs.....	42
c)Teneur en eau de l'huile.....	42
3.1.2. Teneur en cendres.....	43
3.1.3. Teneur en protéines.....	44
3.1.4. Teneur matières grasses totales	46
3.1.5. Teneur en glucide	46
3.2. GRANULOMETRIE SUR BASE DU POIDS PAR TAMISAGE	47
3.3. ALVEOGRAPHIE.....	47
3.4. PROPRIETES D'HYDRATATION DES FARINES DE MAIS ET DE RIZ GELATINISE.....	50
4. FORMULATION SANS GLUTEN	52
5. PREPARATION DE FARINE P.T	52
6. OPTIMISATION DU VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN SANS GLUTEN PAR LA METHODE DES SURFACES DE REPONSE	53
6.1. PLAN D'EXPERIENCE.....	54
6.2. MODELISATION DE LA REPONSE.....	54
6.3. DETERMINATION DES VARIABLES REELLES.....	55
6.3.1. Hydratation.....	55
6.3.2. Détermination des valeurs minimales et maximales du farine pré-gélatinisé	56
7. PROCESSUS DE PANIFICATION	58
8. CARACTERISATION DU PAIN	62
8.1. Détermination du volume spécifique	62

8.2. ANALYSE DE TEXTURE (ANALYSE D'IMAGE)	62
8.2.1. Acquisition d'image.....	63
8.2.2. Traitement des images.....	64
8.2.3. Morphologie mathématique	65
8.3. Analyses sensorial	65
9. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES ET REPRESENTATIONS GRAPHIQUES	67
<i>Résultats et Discussion</i>	70
1. COMPOSITION CHIMIQUE DES SEMOULE ET DES FARINES	68
1.1. Composition physico-chimique des semoules.....	68
1.2. Composition physico-chimique des farines.....	69
2. CARACTERISATIQUES GRANULOMETRIQUES	70
2.1. Granulométrie des semoules destinées à la fabrication du pain témoin et pain sans gluten des deux formules.....	70
2.2. Granulométrie des farines destinées à la fabrication des farines prégélatinisé	71
3. CARACTERISTIQUES RHEOLOGIQUES DE LA PATE BLE DUR PAR L'ALVEOGRAPHIE CHOPIN	72
4. PROPRIETES D'HYDRATATION DES FARINES DE MAIS ET DE RIZ GELATINISE	73
5. EFFET D'HYDRATATION ET DE FARINE PREGELATINISE SUR LE VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN KHOBZ EDDAR SANS GLUTEN	74
6. OPTIMISATION DU VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN KHOBZ EDDAR SANS GLUTEN DES DEUX FORMULES PAR LA METHODE DES SURFACES DE REPONSE	76
6.1. MODELISATION STATISTIQUE DU VOLUME SPECIFIQUE	76
6.1.1. Modélisation de la réponse volume spécifique du pain de la formule maïs/fèverole	76
6.1.2. Modélisation de la réponse volume spécifique du pain de la formule riz/fèverole ...	76
6.2. DIAGRAMMES DE SURFACE DES REPONSES.....	77
6.2.1. Optimisation de volume spécifique maïs/fèverole.....	77
6.2.2. Optimisation de de volume spécifique riz/fèverole	78
6.3. Graphiques de contour des réponses	81
6.4. Validation des résultats de l'optimisation.....	81
7.TRAITEMENT D'IMAGE	83
7.1.Caractéristiques des alvéoles de la mie des trois pains <i>khobz Eddar</i>	83
7.2.Forme des alvéoles.....	84
7.3. Distribution de la taille des alvéoles.....	85
8. CARACTERISTIQUES SENSORIELLES DES PAINS	87
8.1. Test de préférence.....	87
8.2. Profil sensoriel.....	89
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	94
ANNEXES	107
RESUMES	

LISTE DES FIGURES

FIGURE 01 : Le grain de blé.....	5
FIGURE 02 :Classification et nomenclature des protéines de la semoule de blé dur.....	8
FIGURE 3 : Structure d'un plant de riz.....	11
FIGURE 04 : Classification de <i>Vicia faba</i> L.....	15
FIGURE 05 : Traitement différences entre pains plats monocouche et double couche.....	17
FIGURE 06 : Classification de pain plat.....	17
FIGURE 07 : Observations en microscopie confocale (x10) de pâtes à même teneur en saccharose (2% (MF)) et en huile de colza (10% (MF)) et à différentes teneurs en eau : (a) 50%, (b) 55% et (c) 60% (MF).....	19
FIGURE 08 : Microstructure de pâte contenant (a) 2%, (b) 5% et (c) 10% de levure avec une teneur en eau fixe de 60%.....	19
FIGURE 09 : Action de stabilisation des bulles gazeuses par l'huile.....	21
FIGURE 10 : Transformations pendant la cuisson du pain.....	24
FIGURE 11 : Population de la commune de Constantine.....	30
FIGURE 12 : Diagramme traditionnel type de fabrication de <i>khobz eddar</i> à base 100 g de blé dur au niveau de la commune de Constantine par sondage.....	37
FIGURE 13 : Diagramme type final de fabrication <i>Khobz eddar</i> à base de blé dur	38
FIGURE 14 : Semoules et farines utilisées dans la préparation de <i>khobz Eddar</i> et Farine Prégélatinisé (FP)	39
FIGURE 15 : L'alvéogramme.....	48
FIGURE 16 : Courbes alvéographiques schématiques des différentes classes de blé.....	49
FIGURE 17 : Détermination propriétés d'hydratation des farines de maïs et de riz gélatinisé.....	51
FIGURE 18 :Les étapes de formulation de deux améliorants de type farine "prégélatinisé " (FP) sur la base des mêmes processus mais différent par leur recette;	53
FIGURE 19 : Diagramme de fabrication de <i>khobz Eddar</i> sans gluten à base du maïs /févrole en fonction de la température de conservation du farine prégélatinisé et l'huile.....	57
FIGURE 20 : Diagramme illustrant les étapes de panification de deux formules de pain sans gluten basé sur les mêmes processus mais différent par leur recette.....	60
FIGURE 21 : Mesure des volumes spécifiques des pains par la méthode de déplacement des grains.....	62
FIGURE 22 : Trois types de pores différents.....	63
FIGURE 23 : Image réelle et les transformations appliquées.....	64
FIGURE 24 :Les seuils de classification des pixels indéterminé.....	64
FIGURE 25 : Granulométrie des semoules destinées à la fabrication de <i>khobz Eddar</i> et des farines destinées à la fabrication du farine prégélatinisé.....	71

FIGURE 26: Effet de l'eau et de Farine Prégélatinisé (FP) sur le pain <i>khobz Eddar</i> sans gluten de la formule FMF et la formule FRF	75
FIGURE 27: Effet de l'hydratation et de la farine prégélatinisé maïs sur le volume spécifique (V_{sp}) du <i>khobz Eddar</i> de la formule maïs/fèverole sans gluten	78
FIGURE 28 : Rapport de t de volume spécifique de <i>khobz Eddar</i> de la formule maïs/fèverole.....	78
FIGURE 29: Effet de l'hydratation et du Farine Prégélatinisé (FP) riz sur le volume spécifique (V_{sp}) du <i>khobz Eddar</i> de la formule riz/fèverole sans gluten	79
FIGURE 30 : Rapport de t de volume spécifique de <i>khobz Eddar</i> de la formule riz/fèverole.....	79
FIGURE 31 : Combinaison optimale (X_1 et X_2) pour un volume spécifique (V_{sp}) de la formule maïs/fèverole maximal et la réponse Y prévue.	82
FIGURE 32 : Combinaison optimale (X'_1 et X'_2) pour un volume spécifique (V_{sp}) de la formule riz/fèverole maximal et la réponse Y' prévue.	82
FIGURE 33 : Fréquences de la distribution de taille des bulles du pain témoin.....	86
FIGURE 34: Fréquences de la distribution de taille des bulles du pain FMF optimum du couple (115 ml, 7,05 g).....	86
FIGURE 35 : Fréquences de la distribution de taille des bulles du pain FRF optimum du couple (105 ml, 6,3 g).....	87
FIGURE 36 : Résultats de l'acceptation organoleptique des pains fabriqués.....	89

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 01 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé.....	5
TABLEAU 02 : Principaux produits de la mouture du blé.....	6
TABLEAU 03 : Classification de la semoule produite en France.....	6
TABLEAU 04 : Les différentes catégories de semoules en Algérie et en Tunisie	6
TABLEAU 05 : Tableau comparatif des compositions nutritionnelles/100 g de riz.....	12
TABLEAU 06 : Composition chimique approchée des principales parties des grains de maïs (%)	13
TABLEAU 07 : Composition de semoule de maïs crue.....	13
TABLEAU 08 : Composition d'une féverole décortiquée industriellement.....	15
TABLEAU 09 : Améliorants naturels utilisées pour l'amélioration de l'expansion gazeuse du pain sans gluten (Volume spécifique).....	27
TABLEAU 10 : Températures de gélatinisation de quelques amidons.....	28
TABLEAU 11 : Distribution par secteur des femmes de la commune de Constantine	31
TABLEAU 12 : Distribution par secteur de l'échantillon d'étude.....	31
TABLEAU 13 : Ingrédients utilisés en fabrication du pain <i>khobz eddar</i>	33
TABLEAU 14 : Ingrédients additionnels utilisés en fabrication du <i>khobz eddar</i>	33
TABLEAU 15 : Utilisation des œufs.....	33
TABLEAU 16 : Type de la semoule utilisé pour la préparation de <i>khobz eddar</i>	33
TABLEAU 17 : Les principaux ingrédients utilisés dans la fabrication du pain <i>khobz eddar</i>	34
TABLEAU 18 : Nombre de pétrissage.....	34
TABLEAU 19 : Type de pétrissage.....	34
TABLEAU 20 : Durée de pétrissage.....	34
TABLEAU 21 : Nombre de fermentation.....	35
TABLEAU 22 : Durée et température de fermentation.....	35
TABLEAU 23 : Durée et température de cuisson.....	36
TABLEAU 24 : Type de four.....	36
TABLEAU 25 : Type de moule.....	36
TABLEAU 26 : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère	49
TABLEAU 27 : Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables...	54
TABLEAU 28 : Niveaux codés et réelle du facteur d'eau dans la conception composite central.....	56
TABLEAU 29 : Niveaux codés et réelle du facteur farine pré-gélatinisé (FP) dans la conception composite central.....	56
TABLEAU 30 : Valeurs codées et réelles des couples Hydratations- Farine Pré-gélatinisé (FP) des deux formules utilisés pour la réalisation du plan d'expérience	56

TABLEAU 31 : L'effet de la température de conservation du Farine Prégélatinisé (FP) ajouté à différentes pourcentage et de l'huile sur le volume spécifique (V_{sp}) du pain maïs/féverole	58
TABLEAU 32 : Les formulations des 13 essais étudiés de pain maïs/féverole	61
TABLEAU 33 : Les formulations des 13 essais étudiés de pain riz /féverole	61
TABLEAU 34 : Termes retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pains.....	66
TABLEAU 35 : Principaux constituants des matières premières (g pour 100g de matières premières) semoule et farine.....	68
TABLEAU 36 : Caractéristiques alvéographiques de la semoule de blé dur	72
TABLEAU 37 : Propriétés d'hydratation des farines de maïs et de riz gélatinisé.....	73
TABLEAU 38 : Les réponses des pains de la Formule Maïs / Féverole (FMF) et la Formule Riz / Féverole	74
TABLEAU 39 : Analyse de la variance et des paramètres statistiques du modèle de volume spécifique (V_{sp}) de <i>khobz Eddar</i> de la formule maïs/ féverole	76
TABLEAU 40 : Analyse de la variance et des paramètres statistiques du modèle de volume spécifique (V_{sp}) de <i>khobz Eddar</i> de la formule riz /féverole	77
TABLEAU 41 : Resultats des analyses des images de la mie des pains témoin, FMF et FRF.....	83
TABLEAU 42 : Facteur de forme des bulles (% des cellules totale).....	84
TABLEAU 43 :Images de la mie des pain khobz eddar (Témoin, FMF et FRF).....	85
TABLEAU 44 : Résultat du test de préférence.....	88

LISTE DES ABREVIATIONS

%P	Pourcentage de Protéine totale
AFNOR	Association française de normalisation
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
C	Cendre
CCD	Central composite design
D	Désirabilité
DG	Distribution granulométrique
F.A.O	Food and Agriculture Organization
FMF	Formule maïs/féverole
FP	Farine Prégélatinisé
FP	Farine Prégélatinisé
FPM	Faible poids moléculaire
FRF	Formule riz/féverole
G	Indice de gonflement
GT	Glucides totaux
H	Humidité
HLA	Human leukocyte antigen
HPM	Haut poids moléculaire
I.S.I	Indian standards institution
JORA	Journal officiel de la république algérienne
LNTA	Laboratoire de recherche nutrition et technologie alimentaire
MC	Maladie cœliaque
MF	Masse fraîche
MG	Matières grasses totales
MPM	Medium poids moléculaire
MS	Masse sèche
MSR	Méthode des surfaces de réponse
OMS	Organisation mondiale de la Santé
ONS	Office National des Statistiques
P/L	Rapport ténacité / extensibilité
PSG	Pain sans gluten
RSG	Régime sans gluten
SBD	Semoule de blé dur
SF	Semoule de féverole
Sh	Shape (facteur forme)
SM	Semoule de maïs
SP	Swelling power (pouvoir de gonflement)
SR	Semoule de riz
TG-2	Transglutaminase type 2
TIFF	Tagged image file format
Vps	Volume spécifique
W	Travail de déformation
W1	Poids de surnageant séché (résidu)
WAI	Water-absorption index (Indice d'absorption d'eau)
Ws	Poids de sédiment
WSI	Water-solubility index (l'indice de solubilité dans l'eau)

INTRODUCTION

Introduction

La maladie cœliaque (MC) est une entéropathie déclenchée par l'ingestion de gluten de blé et de céréales apparentées chez des sujets génétiquement prédisposés. Son traitement demeure exclusivement diététique, le régime sans gluten (RSG) (SCHMITZ, 2011).

La MC touche surtout les populations d'Europe du nord, les pays du Maghreb, l'Australie et les Etats-Unis. En revanche, elle est très rare en Asie et en Afrique subsaharienne (CHYDERIOTIS *et al.*, 2008). En 2003 la prévalence moyenne totale de la maladie cœliaque est d'au moins 0,90 ‰ au niveau de quelques villes de l'Est Algérien (BENATALLAH, 2009 ; BENKADRI, 2010 ; BOUASLA, 2011).

En raison de leur qualité technologique et nutritionnelle, les produits céréaliers, en particulier les pains, sont des éléments de base du régime alimentaire dans de nombreux pays, bien que les patients atteints de la MC soient incapables de consommer du pain et d'autres aliments fabriqués traditionnellement à partir de farine de blé (SCIARINI *et al.*, 2012).

Les pains plats constituent la principale base de l'alimentation dans de nombreux pays du Moyen-Orient et Afrique du Nord. Aujourd'hui, l'utilisation des améliorants de panification est devenue un élément indispensable pour réhausser la qualité des produits de boulangerie (POURFARZAD *et al.*, 2012). Le Pain Sans Gluten (PSG) ne présente pas les mêmes caractéristiques (volume et texture) comme le pain de blé. Lorsque la farine sans gluten est mélangée pour former une pâte, elle ne forme pas une phase continue et elle ne permet pas donc de produire du pain de bon qualité (CLERICI *et al.*, 2009).

Le remplacement du gluten avec d'autres sources de protéines est une autre approche utilisée dans la production de produits sans gluten (MOOR *et al.*, 2004). De nombreux chercheurs ont essayé d'utiliser des additifs afin d'améliorer la qualité des PSG (CLERICI *et al.*, 2009), tels que les hydrocolloïdes, les gommes de guar, de xanthane, de caroube, les carraguénanes, les alginates, les pectines et l'HPMC (MIÑARRO VIVAS, 2013), pour augmenter leur volumes spécifiques, mimer les propriétés viscoélastiques du gluten, et améliorer les caractéristiques sensorielles des produits finis. Ils permettent notamment d'emprisonner les bulles de gaz produites par la fermentation de la levure et créer ainsi une structure alvéolaire composée d'un grand nombre de cellules gazeuses de petite taille (BOURSIER et LEROUX, 2013). Les gommes et les enzymes renforceront le réseau protéique de la farine de riz (CLERICI *et al.*, 2009).

Introduction

Par ailleurs, ces hydrocolloïdes restent chers et pas à la portée de tous les malades. À cet égard, le pain sans gluten a été élaboré en combinant des ingrédients tels que l'amidon, farines ou amidons gélatinisés ou pré-gélatinisés comme le Tang zhong, les œufs et les produits laitiers. La farine gélatinisée forme un réseau tridimensionnel dû à la formation de liaisons hydrogènes retenant le gaz et se dilatant au cours de la fermentation et de la cuisson de PSG (CLERICI *et al.*, 2009).

Les premiers résultats obtenus au sein de l'équipe de Transformation et Elaboration de Produits Agro-alimentaires (T.E.P.A), du Laboratoire de Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A), montrent qu'en tête de liste des produits réclamés par les malades cœliaques, se placent les produits céréaliers fermentés traditionnels tels que le pain type *khobz Eddar*.

C'est dans le cadre de cette thématique que s'inscrit notre mémoire de magister qui vise à contribuer à améliorer la situation alimentaire des malades cœliaques algériens.

Les objectifs de de travail sont :

- 1- Formulation et fabrication de pains levés type *khobz Eddar* sans gluten amélioré par la farine pré-gélatinisés;
- 2- Optimisation de la panification sans gluten.

Les ingrédients de base choisis pour cette formulation sont les céréales (maïs et le riz) et le légume sec (féverole). L'objectif principal de cette étude est de tester l'effet de l'addition d'une farine pré-gélatinisée riz ou de maïs en panification sur une formule céréales (maïs ou riz)/féverole avec un rapport de 2/1. Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :

- 1- Organisation d'un sondage en vue d'établir le diagramme type de fabrication du pain *khobz eddar* dans la commune de Constantine
- 2- Caractérisation physico-chimique et rhéologique des matières premières ;
- 3- Formulation des pains levés sans gluten avec des matières exemptes de gluten : maïs/féverole et riz/féverole amélioré par du maïs ou du riz pré-gélatinisés ;
- 4- Construction de plans d'expériences ;
- 5- Optimisation de la fabrication des pains levés type *khobz Eddar*;
- 6- Analyse d'image des pains *khobz eddar* témoin et sans gluten des deux formules optimisées ;
- 7- Caractérisation sensorielle des pains des deux formules *khobz eddar* optimisées.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1. MALADIE CŒLIAQUE

1. DEFINITION

La maladie cœliaque (MC), on la connaît aussi sous les noms de sprue cœliaque, d'entéropathie au gluten ou de sprue non tropicale (BAI *et al.*, 2012), est une entéropathie apparentée aux maladies auto-immunes, induite par l'ingestion de gluten chez des individus génétiquement prédisposés (CLEMENT *et al.*, 2015). D'autres pourraient aussi jouer un rôle : comme une introduction précoce du gluten dans le régime alimentaire du nourrisson (NORRIS *et al.*, 2005) et d'autres facteurs environnementaux, probablement infectieux, viraux et bactériens encore mal identifiés sont susceptibles de déclencher la phase active de la maladie (STENE *et al.*, 2006).

MC se traduit par une atrophie de la muqueuse du grêle proximal, régressive après exclusion alimentaire du gluten de blé et des prolamines équivalentes des autres céréales réputées toxiques telles que le seigle et l'orge (BELLIR *et al.*, 2015). La prévalence de la maladie cœliaque dans une population en bonne santé varie entre environ 1 pour 100 et 1 pour 300 dans la plus grande partie du monde. Le rapport homme/femme est de 2 : 1 (BAI *et al.*, 2012).

Les céréales connues pour leur toxicité sont, par ordre de toxicité décroissante, le Blé (gliadine), le Seigle (fraction prolamine est dite Seraline) et l'Orge (fraction prolamine est dite Hordenine). La toxicité de l'Avoine est très controversée (fraction prolamine est dite Avenine) (CHARBONNIER *et al.*, 1980, BERRAH *et al.*, 2000).

2. HISTORIQUE

La MC décrite en 1888 par Samuel Gee, elle n'était pas distinguée de la mucoviscidose jusqu'au milieu du XXe siècle. La toxicité du gluten a été découverte en 1941 (MOUTERDE *et al.*, 2008). C'est finalement au cours des années 1950 que le rôle déclenchant des protéines de stockage des céréales (collectivement appelées gluten) est reconnu par William Dicke (VAN DE KAMER *et al.*, 1953). la présence d'anticorps circulants en 1980, l'association avec un phénotype HLA est connue depuis 1989 (MOUTERDE *et al.*, 2008).

3. SYMPTOMES

En fonction des individus, les symptômes de la maladie cœliaque varient énormément. Certains peuvent n'avoir qu'un seul symptôme (GARNIER, 2014), le plus souvent des symptômes gastro-intestinaux : diarrhée, malnutrition, perte de poids, stéatorrhée et œdèmes secondaires à une hypo albuminurie (BAI *et al.*, 2012). Mais la majorité des cas seraient

asymptomatiques, et ne sont donc pas diagnostiqués (appelée autrefois maladie cœliaque silencieuse). En outre, le diagnostic peut être long : entre l'apparition des premiers symptômes et le diagnostic, il peut s'écouler jusqu'à 7 ans (GARNIER, 2014).

4. TRAITEMENT

Le seul traitement connu de cette maladie qui est déclenchée par l'ingestion de gluten est un régime sans gluten (RSG) rigoureux respecté tout au long de la vie (SANCHEZ *et al.*, 2015). RSG repose sur la suppression de tous les aliments contenant l'une et/ou l'autre des quatre céréales toxiques, et leur substitution par d'autres, en particulier le riz et le maïs (MATUCHANSKY *et al.*, 2005, MALAMUT et CELLIER., 2010). L'OMS a proposé que la teneur en gluten d'un aliment sans gluten n'excède pas 10 mg pour 100g. En Algérie, il n'existe pas d'obligation légale à mentionner l'apport en gluten sur les aliments (BERRAH *et al.*, 2000). Dans de très rares cas, la reprise d'un régime normal ne donne lieu à aucune manifestation clinique ou biologique, mais la rechute peut survenir de façon retardée. (SOLAYMANI-DODARAN *et al.*, 2007).

D'autres pistes thérapeutiques émergent. Une de ces voies d'avenir serait de traiter les farines par digestion enzymatique des sites toxiques de la gliadine, soit de façon extemporanée soit par ingestion d'enzymes conjointement aux céréales. D'autres pistes paraissent plus lointaines et hasardeuses comme l'inactivation de la TG-2 et /ou l'apoptose de lymphocytes spécifiques, la vaccinothérapie, la synthèse de gluten de blé atoxique par du maïs modifié (SOLAYMANI-DODARAN *et al.*, 2007, MOUTERDE *et al.*, 2008).

CHAPITRE 2.COMPOSITION DES PRODUITS DE PANIFICATION

1.CEREALES

Les céréales occupent une part importante de notre alimentation. De part leur valeur énergétique, elles représentent jusqu'à 60% de l'apport calorique dans les pays en développement. Les céréales appartiennent principalement à la famille des graminées : ce sont surtout le blé, le riz et le maïs mais aussi l'orge, le seigle, le sorgho, le mil ou millet, l'avoine, le panic, le coracan. On en rapproche aussi le sarrasin quoique ce soit une polygonacée et non une graminée (BERRAH *et al.*, 2000).

1.1. BLE DUR

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) (figure 01) constitue la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéines, il prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge (MAZOUZ, 2006).

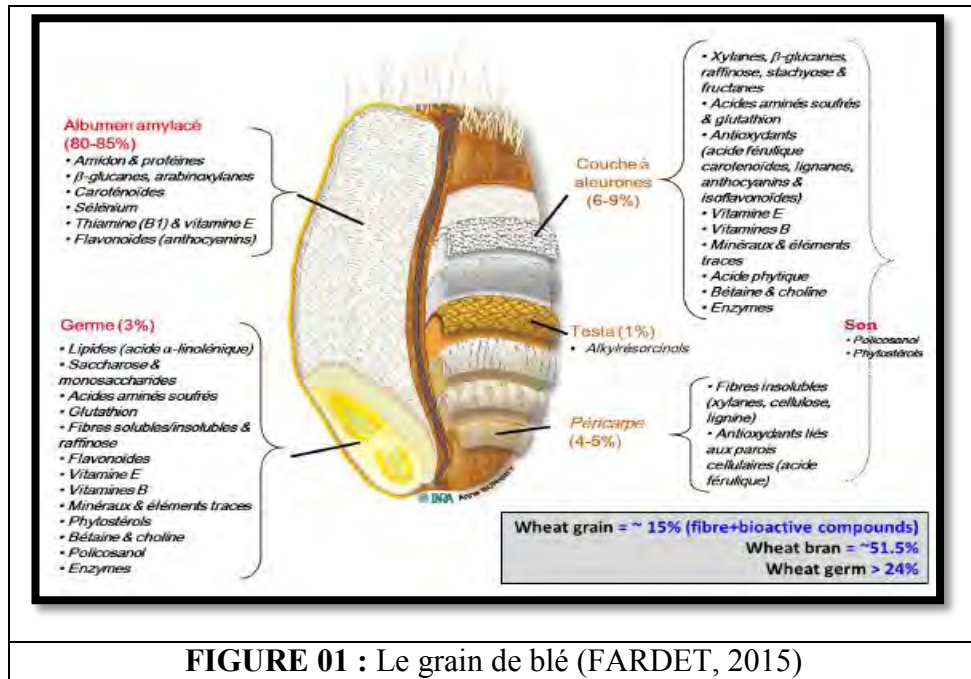


FIGURE 01 : Le grain de blé (FARDET, 2015)

1.1.1 Composition du grain de blé

Le blé est un fruit sec et indéhiscant contenant la graine, appelé « caryopse ». La coupe longitudinale de grain révèle de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes : les enveloppes, le germe et l'albumen (amande) (POMERANZ, 1988). Les principaux constituants du grain du blé ont été mentionnés au Tableau 01 et Figure 01.

TABLEAU 01 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé (FEILLET, 2000).

	% grain	Part du constituant dans le tissu			
		% albumen	% aleurone	% péricarpe	%germe
Amidon	68,9	82	0	0	0
Protéines	13,7	12	30	10	31
Fibres	10,2	2	49	83	9
Lipides	2,7	2	9	0	12
Minéraux	1,9	0,5	12	7	6
Sucre réducteurs	2,4	1,8	0	0	30

1.1.2. Semoule de blé dur

Dans l'alimentation humaine, le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, ou de pâtes (DEBITON, 2010). Dans le bassin méditerranéen, le blé dur trouve une large utilisation dans la préparation de plusieurs types de pains (CIAFFI *et al.*, 1996). La semoule est définie par le *Codex Alimentarius* comme étant le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum*) par un procédé de mouture au cours duquel le son et le

germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré de finesse adéquat (Tableau 02). La semoule complète de blé dur est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie de germe sont préservés (F.A.O, 1995).

TABLEAU 02: Principaux produits de la mouture du blé (FEILLET, 2000)

Farines	Fines particules d'albumen (30 à 200 µm)
Semoules	Grosses particules d'albumen exemptes d'enveloppes adhérentes (150 à 500 µm)
Gruaux ⁽¹⁾	Produits isolés du cœur de l'albumen et de taille intermédiaire entre celle des semoules.
Semoule bisés	Grosses particules d'albumen auxquelles adhèrent des fragments d'enveloppe
Remoulages	Fines particules d'enveloppes auxquelles adhèrent des particules d'albumen. Les remoulages blancs se différencient des remoulages bis par leur teneur plus élevée en produits issus de l'albumen.
Fins sons	Petits morceaux d'enveloppe (0,5-1 mm de dimension principale : 0,5-10 mm ²) exempts d'albumen.
Gros sons	Gros morceaux d'enveloppe (1-5 mm de dimension principale : 1 à 10 mm ²) exempts d'albumen.

⁽¹⁾ Qu'il ne faut pas confondre avec les gruaux D. qui sont des farines basses, riches en produits issus de la couche à aleurone, de la mouture du blé dur.

1.1.3. Classification de la semoule de blé dur

La granulométrie des semoules varie beaucoup en fonction des marchés et des usages locaux (AIT-SLIMANE, 2008). On distingue, selon la granulométrie, différentes catégories de semoule dont chacune est obtenue par une succession de plusieurs broyages. Ces différents types de semoule sont présentés dans les Tableaux 03 et 04 (FEILLET, 2000).

TABLEAU 03: Classification de la semoule produite en France (FEILLET, 2000).

Catégorie	Etendue granulométrique (µm)	Utilisation
SSSE	180-500	Pâtes alimentaires de qualité supérieure
SSSF	140-250	Pâtes alimentaires de qualité courante
MG	1120-1600	Semoules vendues en l'état.
SSSG	710-1120	
SSSS	450-710	
SSSS	250-450	

SSSE : Semoules sâssées super extra, SSSF : Semoules sâssées super fines, MG : Grosses semoule.

TABLEAU 04 : Les différentes catégories de semoules en Algérie et en Tunisie (MADANI, 2009 ; BENBELKACEM *et al.*, 1995 ; GAALOUL *et al.*, 2011)

Catégorie	Etendue granulométrique (µm)	Utilisation Algérie	Utilisation Tunisie
SG	900 – 1100	usages domestiques, couscous type <i>gros</i>	Couscous
SGM	550 – 900	Galette, du couscous, biscuits, crêpes	
SSSE	190 – 550	Pâtes alimentaires.	pain traditionnel, pâtes alimentaires, Makroudh.
SSSF	140 – 190	pâtes alimentaires industrielles	

SG : Semoules grosses, SGM : Semoules grosses moyennes, SSSE : Semoules sâssées super extra, SSSF : Semoules sâssées super fines.

1.1.4. Critères de qualité de la semoule

Les qualités de la semoule peuvent être divisées en deux catégories : celles qui se révèlent sur la semoule même, comme, surtout, sa coloration et celles qui nécessitent sa transformation en pâte compacte, crue ou cuite, pour pouvoir être appréciées (AIT-SLIMANE, 2008).

a) Les ménages : recherchent des semoules pures et de couleur dorée. Cette semoule doit présenter une granulométrie homogène. Quant à la semoule de qualité inférieure, elle est destinée à la fabrication de galettes.

b) Le semoulier : recherche des variétés à poids spécifique élevé du fait que les unités de transformation se basent sur ce paramètre pour la trituration.

c) Le pastier : recherche des semoules pures et non contaminées par le son, dont la qualité des protéines soit satisfaisante. (BENBELKACEM *et al.*, 1995).

1.1.5. Composition de la semoule de blé dur

Les farines et semoules obtenues seront en général enrichies en amidon et en protéines, mais appauvries en fibres, vitamines et minéraux par rapport aux grains entiers (SAULNIER, 2012). La composition chimique de la semoule est étroitement liée à celle de blé dur et au diagramme de mouture (nombre de passages d'extraction). Généralement, la semoule contient 80 % de glucides, 78 % sous forme d'amidon (amylose et amylopectine) et 2% sous forme de sucres réducteurs. Elle est, également, composée de 10 à 16,5 % de protéines dont 80 à 85 % sont des protéines de réserve. Les pentosanes sont présents avec un pourcentage de 1,5 à 3 % : ce sont des arabinoxylanes (polymères de xylose) possédant une propriété de gélification exceptionnelle et des oxydases jouant un rôle important dans la couleur jaune des pâtes alimentaires (CHRISTELE-ICARD, 2000). Généralement, les lipides représentent 1 - 2 % de la semoule de blé dur et des pâtes. La teneur en eau de la semoule est de l'ordre de 14,5 % et peut varier légèrement selon l'origine de la semoule (transport, stockage, etc.) et le mode de conditionnement (F.A.O, 1995).

a) Protéines

Quatre groupes de protéines sont identifiés dans le blé (figure 02). Les fractions antigéniques majeures du blé sont les gliadines, les gluténines, les albumines et les globulines (SANDIFORD *et al.*, 1997 ; OSBORNE, 1907); Les gliadines et gluténines, insolubles dans l'eau ou les solutions salines, sont regroupées sous le terme de prolamines (SANDIFORD *et al.*, 1997). Les prolamines du blé ont des propriétés d'association uniques, qui conduisent à la formation d'un réseau viscoélastique, le gluten, à l'origine du caractère panifiable du blé

(SAULNIER, 2012). La classification actuelle des protéines du gluten du blé, selon leur structure primaire distingue ainsi 3 groupes de protéines:

- Les protéines de haut poids moléculaire (HPM) : elles comprennent les sous-unités HMW de la gluténine ;
- Le groupe MPM (medium), pauvre en cystéine et méthionine (acides aminés sulfurés), réunit les fractions oméga de la gliadine ;
- Le 3e groupe, FPM (faible poids moléculaire), riche en acides aminés sulfurés, est constitué des fractions alpha et gamma de la gliadine ainsi que des sous-unités FPM de la gluténine (SHEWRY et HALFORD, 2002, SANDIFORD *et al.*, 1997) .

Le gluten du blé dur a une faible teneur en gluténines de (HPM), celles qui participent à la formation du réseau viscoélastique du pain fabriqué avec la farine de blé tendre (REMESY *et al.*, 2015). Pain de blé dur a été signalée d'avoir moins toxique pour les personnes souffrant d'intolérance au gluten, raison pour fabriquer du pain à partir de semoule de blé dur (TRONCONE et AURICCHIO., 1991).

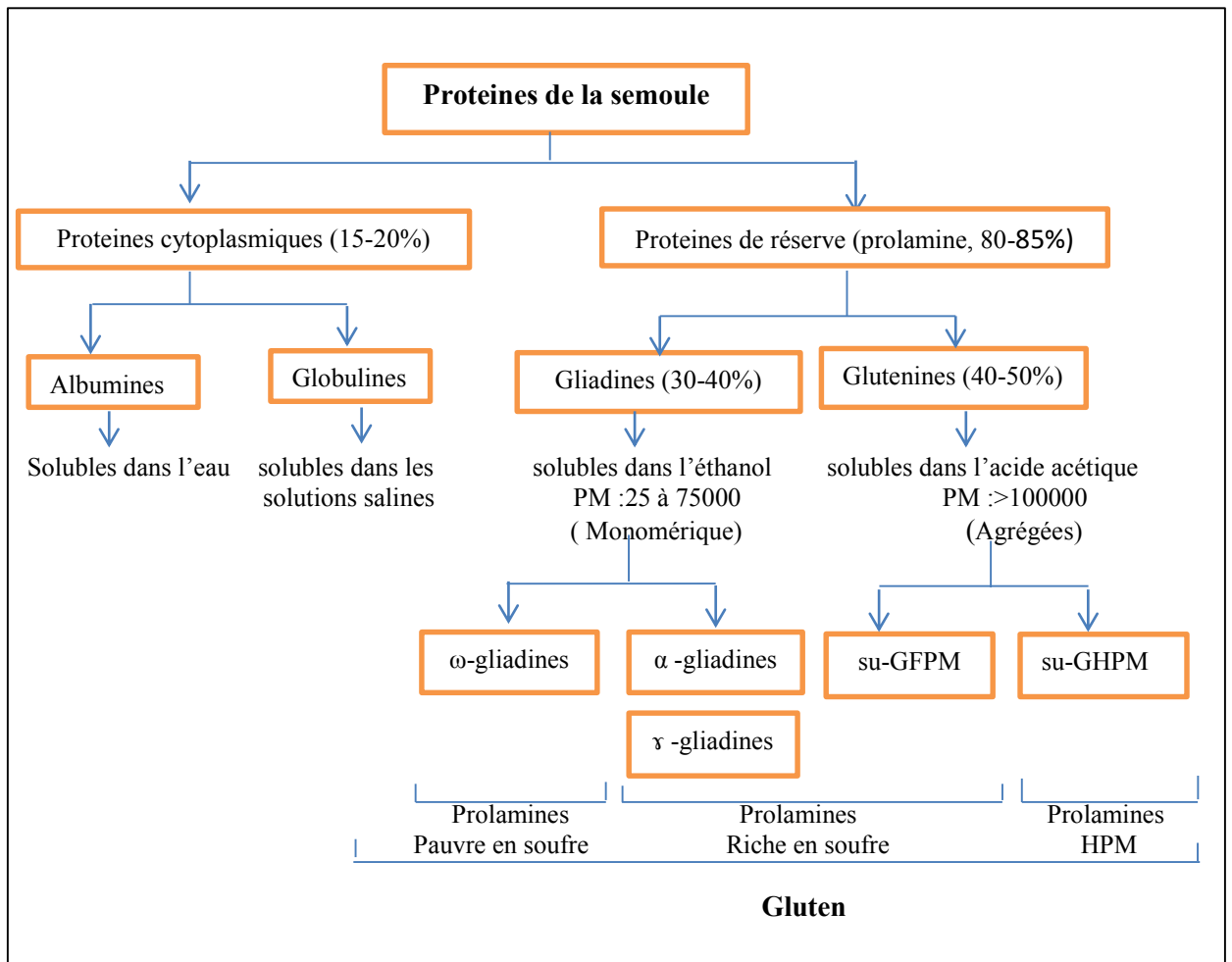


FIGURE 02 :Classification et nomenclature des proteines de la semoule de blé dur (SHEWRY *et al.*, 1986).

Les gliadines sont responsables de l'extensibilité et de la viscosité de la pâte (ELIASSON *et al.*, 1989), SAPIRSTEIN *et al* (2007) affirment que le blé dur qui possède la fraction 45-y Gliadine se caractérise par une meilleure qualité des pâtes et volume de pain et une force élevée de gluten que le blé dur qui contient que 42- γ Gliadines.

Les gluténines sont responsables de l'élasticité et la ténacité du gluten (KHAN *et al.*, 1979), ils présentent une très forte aptitude à former des réticulations, en effet les propriétés de la pâte sont influencés par le rapport des gluténines et gliadines (SISSONS,2008).

Le gluten est responsable de l'élasticité, la cohésion, l'extensibilité et la ténacité des pâtes d'où ses propriétés rhéologiques. Le gluten est un facteur primordial pour la détermination de la qualité fonctionnelle de la semoule (FEILLET, 2000). Il contribue à la force de la pâte et l'élaboration des réticulations par le biais de ses fractions gluténines.

b) Amidon

Ce glucide est l'élément qui se trouve en plus grande quantité dans l'albumen et peut atteindre 82% de la matière sèche de la semoule de blé. Il est le résultat du mélange de deux polymères α -D- glucose, l'amylose et l'amylopectine (BOUDREAU et MENARD., 1992).

***Amylose**

D'une faible masse moléculaire (200 000 à 1 000 000 daltons), est formé de chaînes presque entièrement linéaires, unies par des liaisons α (1-4) et par quelques liaisons du type α (1-6) dans la portion ramifiée (BOUDREAU et MENARD., 1992).

***Amylopectine**

La masse moléculaire atteint 10^7 à 10^8 daltons, est un polymère ramifié constitué d'une longueur moyenne de chaînes de 20 à 25 molécules de glucose, ayant aux points d'embranchement des liaisons glycosidiques α (1-6) (BOUDREAU et MENARD., 1992).

c)Pentosanes

Ce sont des polysaccharides présents dans les parois cellulaires des différents tissus du blé en particulier celle de l'endosperme. Les pentosanes ont un effet net sur la qualité de la pâte car ils agissent comme agents de liaison de l'eau au cours de pétrissage. On distingue deux formes de pentosanes : hydrosolubles et insolubles. Les deux polymères des pentosanes sont les arabinoxylyanes et les arabinogalactanes (NEUKOM, 1976). Les pentosanes retardent la rétrogradation de l'amidon et prolongent la conservation du moelleux du pain (BURE, 1980).

d) Lipide

Dans le cas du blé dur, les travaux qui relient la fraction lipidique à la qualité des blés, sont peu nombreux. Il jouent un rôle relativement important dans la qualité culinaire, en s'associant aux protéines au cours du malaxage ou du séchage des pâtes (LAIGNELET, 1983). Les effets des lipides sur les propriétés fonctionnelles de la pâte dépendent d'un équilibre entre lipides polaires et non polaires.

1.1.6. Interactions Lipides -protéines - amidon

Le blé dur est employé depuis longtemps dans les pays méditerranéens pour la fabrication de pains plats traditionnels (QUAGLIA, 1988). Les qualités technologiques des variétés de blé dur sont essentiellement liées à la composition de leur gluten et aux propriétés physico-chimiques de ses constituants (GODON *et al.*, 1981).

Les interactions entre ces macromolécules (les protéines, l'amidon et les lipides) contribuent à une gamme de propriétés fonctionnelles dans la détermination de la qualité culinaire des pâtes. L'apparition de ces complexes, notamment entre l'amidon et les protéines pourraient contribuer à la formation d'un film protéique qui empêcherait la sortie des composants de l'amidon et surtout l'amylose pendant la cuisson (ICARD et FEUILLET, 1996). Par ailleurs, les lipides réagissent avec les protéines et l'amidon pour former un complexe amidon - glycolipides - protéines au moyen de liaisons hydrogènes entre glycolipides et amidon ou gliadine et des liaisons hydrophobes entre glycolipides et glutenine (LAIGNELET, 1983). Les lipides polaires sont liés aux gliadines (liaison hydrophobes) et par conséquent contribuent à la structure du gluten et influent sur la capacité de rétention des gaz lors de la fermentation (HOSENEY *et al.*, 1970). Les lipides ont assez peu d'influence sur les propriétés rhéologiques de la pâte proprement dit. Ils interviennent surtout lors de la fermentation et la cuisson en permettant une plus ou moins bonne expansion des gaz dans la pâte.

1.2. RIZ

Le riz se présente en grains entiers et en brisures provenant de l'espèce *Oryza sativa* L. Il représente la sous-famille des *Oryzoidées* (JONES *et al.*, 1995).

Le grain de riz (riz paille ou paddy) consiste en une enveloppe protectrice - la balle - et en un caryopse ou fruit (riz brun, riz cargo ou riz décortiqué) (JULIANO et BECHTEL, 1985) (figure 2). Le riz cargo comprend les couches externes du péricarpe, le tégument et le nucelle, ainsi que le germe ou embryon (tissu maternel) et l'albumen (l'endosperme) (figure 03). L'albumen comprend la couche de cellules à aleurone, l'albumen proprement dit étant

composer de la couche subaleurone et de la substance interne amyliacée. La couche d'aleurone recouvre l'embryon. La pigmentation se limite au péricarpe (JULIANO et BECHTEL, 1985).

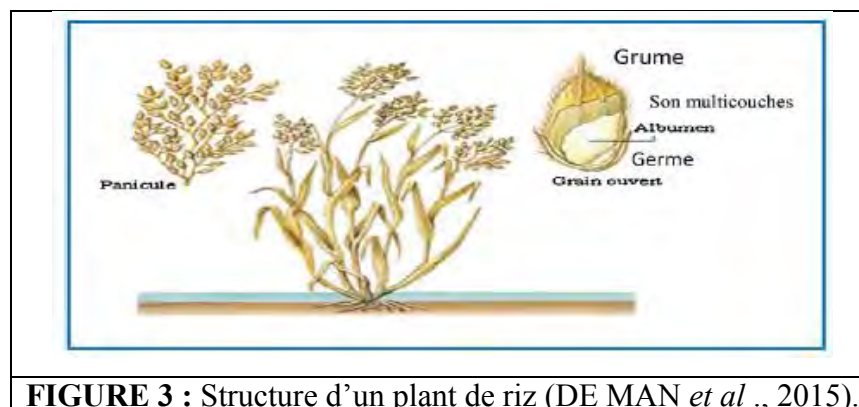


FIGURE 3 : Structure d'un plant de riz (DE MAN *et al.*, 2015).

1.2.1. Différents types de riz

L'usinage des grains de riz permet de distinguer les différents types suivants :

- a) **Riz paddy** : est un riz qui conservé sa balle après battage.
- b) **Riz décortiqué** (riz brun, riz cargo ou riz complet) : est un riz paddy dont la seule balle a été éliminée. Le décorticage et la manutention peuvent entrainer quelques pertes de péricarpe.
- c) **Riz usiné** (riz blanc) est un riz décortiqué qui a été débarrassé par usinage de tout ou partie du péricarpe et du germe.
- d) **Riz étuvé** est un riz décortiqué ou usiné obtenu par trempage dans l'eau de riz paddy ou de riz décortiqué, puis soumis à un traitement thermique qui gélatinifie entièrement l'amidon, et à un séchage.
- e) **Riz gluant** variétés spéciales de riz dont les grains sont blancs et opaques. L'amidon du riz gluant est presque entièrement constitué d'amylopectine. Il a tendance à s'agglutiner après la cuisson.

Il existe d'autre type de riz, le riz non gluant (contenant de l'amylose en plus de l'amylopectine) a un albumen translucide, tandis que le riz gluant (de 0 à 2 % d'amylose) a un albumen opaque en raison de la présence de pores entre les granules d'amidon et à l'intérieur de ceux -ci. Par conséquent, le poids du grain de riz gluant équivaut à environ 95- 98% de celui du grain de riz non gluant.

Les riz à teneur intermédiaire en amylose étaient préférés dans le plus grand nombre de pays, ils comprennent les riz basmati (JULIANO, 1994) .La plupart des variétés de riz Basmati ont une température de gélatinisation moyenne-faible (NUTAN *et al.*, 1986).

1.2.2. Classification du riz

Le comité de la Commission du Codex Alimentarius a proposé la classification suivante du riz usiné sur la base du rapport entre la longueur et la largeur du grain: grain long, $\leq 3,1$; grain moyen, $2,1-3,0$; grain court, $\leq 2,0$ (COMMISSION DU CODEX ALIMENTARIUS, 1990).

Les types de qualité des riz sur les marchés internationaux sont essentiellement les suivantes: riz long de haute qualité; riz long de qualité moyenne; riz à grains courts; riz étuvé; riz aromatique; riz gluant (EFFERSON, 1985).

1.2.3. Composition du grain de riz

Comme toutes les céréales, le riz est riche en glucides complexes (amidon et polyosides constitutifs des fibres alimentaires), jusqu'à 73 g/100 g dans le riz complet cru et de l'ordre de 30 g/100 g dans le riz cuit. Le riz cru est un source de protéines végétales, de fibres, de phosphore et de vitamine B₁, B₅ et B₉, il est pauvre en lipides et en sodium (Tableau 05). Il ne contient pas de gluten (DE MAN *et al.* , 2015).

TABLEAU 05 : Tableau comparatif des compositions nutritionnelles/100 g de riz (DE MAN *et al.* , 2015).

Aliment	Riz blanc étuvé cuit	Riz blanc cuit	Riz complet cru	Riz complet cuit	Riz rouge cru	Riz rouge cuit	Riz sauvage cru	Riz sauvage cuit
Énergie kJ	641	571	1500	659	1490	598	1460	847
Énergie kcal	151	135	354	156	352	141	344	200
Protéines (g)	2,91	2,49	6,85	3,5	8	3,4	11,1	6,5
Glucides	31,1	28,7	73,3	31,7	70,6	28,2	69,3	40,3
Lipides	1,44	0,927	2,8	1,1	3	0,69	0,94	0,58
Sucres	0,06	0,09	0,657	0,45	0	0	2,5	0,73
Amidon	28,5	26	62	28,5	58,4	27	64	28,5
Fibres	0,82	< 1,1	3,6	2,16	4,5	4	5,9	3,1

1.3. MAÏS

Le maïs (*Zea mays*) est une céréale tropicale, fait partie des Tripsacées de la sous-famille des Panicoidées (JONES *et al.*, 1995). Dans les langues indiennes d'Amérique, maïs signifie littéralement « ce qui maintient en vie ». Après le blé et le riz, c'est la céréale la plus répandue dans le monde.

1.3.1. Utilisation et intérêt nutritionnel

C'est la céréale la plus cultivée au monde pour l'alimentation animale et humaine, mais également pour son utilisation dans l'industrie agroalimentaire. Il est consommé sous forme de bouillie, pâtes ou galettes. La semoule ou farine de maïs est utilisée dans la fabrication de la polenta, tortillas et corn flakes. On la trouve aussi comme ingrédients dans l'industrie alimentaire : plats cuisinés, biscuits salés ou sucrés, pain au maïs... L'amidon de

maïs est utilisé dans la fabrication de très nombreux produits alimentaires pour ses propriétés physicochimiques: c'est un épaississant, liant, humectant, gélifiant, édulcorant, anticristallisant, colorant et acidifiant. On le trouve dans les sauces, potages, bouillons, charcuterie, alimentation infantile... L'amidon de maïs est également utilisé pour fabriquer des produits sucrés (NICOLIE *et al.*, 2009).

1.3.2. Classification de maïs

La classification du maïs est basée sur la qualité, la quantité et la composition de l'endosperme. Les maïs cultivés pour l'alimentation sont principalement le maïs doux et le maïs perlé, mais le maïs denté, le maïs farineux et le maïs viteux sont aussi largement utilisés dans l'alimentation. Chacun possède des propriétés différentes pour diverses utilisations (YADAV et SUPRIYA, 2014).

1.3.3. Composition du grain et de la semoule de maïs

Le principal composant chimique du grain de maïs est l'amidon. Les autres glucides sont des sucres simples présents sous forme de glucose, de saccharose et de fructose. Après l'amidon, le composant chimique le plus important du grain est constitué par les protéines. La plus grande partie des protéines se trouve dans l'albumen. La teneur en huile du grain de maïs provient essentiellement du germe. Après les glucides, les protéines et les graisses, les fibres alimentaires sont le composant chimique que l'on trouve en plus grandes quantités (F.A.O, 1993, Tableau 06 et 07).

Composant chimique	Péricarpe	Albumen	Germe
Protéines	3,7	8,0	18,4
Extrait à l'éther	1,0	0,8	33,2
Fibre brutes	86,7	2,7	8,8
Cendres	0,8	0,3	10,5
Amidon	7,3	87,6	8,3
Sucre	0,34	0,62	10,8

La composition chimique de la semoule de maïs est la suivante :

Composant chimique	Semoule de maïs crue
Protéines (g)	7,9
Glucides (g)	74
Lipides (g)	1,8
Sucres (g)	0
Amidon (g)	68
Fibres (g)	3,2

2.LEGUMINEUSES

Les légumineuses ou fabacées constituent une vaste famille de plantes cultivées pour l'alimentation humaine et animale (SIRET, 2004). Les légumes secs sont des graines de légumineuses comestibles qui ont perdu leur humidité par séchage (11 à 17 % d'humidité résiduelle) : haricots, lentilles, pois, fèves et féverole, la lentille; le soja, etc. (MOULE, 1972 ; SIRET, 2004).

2.1. Composition et qualité nutritionnelle des légumineuses

Les légumineuses sont des aliments fonctionnels qui jouent un rôle crucial dans la préservation de la santé et le traitement de certaines maladies. Elles contiennent des protéines végétales, des fibres, des oligosaccharides, des composés photochimiques, des minéraux et d'autres composés bioactifs, tel que les saponines et les polyphénols.

Sur le plan biochimique et nutritionnel, les légumes secs sont caractérisés par (SIRET, 2004):

*Un taux des protéines compris entre 20 et 25 % ; ces protéines sont surtout des globulines caractérisées par un déficit en acides aminés soufrés méthionine et cystéine;

*Des glucides constitués d'amidon parfaitement digestible (45 à 50 %), et de fibres (8 à 18 %) ; par contre, on y trouve aussi des α -galactosides (raffinose, stachyose, verbascose, etc.) non digestibles, hydrolysés et métabolisés par des bactéries intestinales en hydrogène, méthane, et autres gaz responsables de flatulence ;

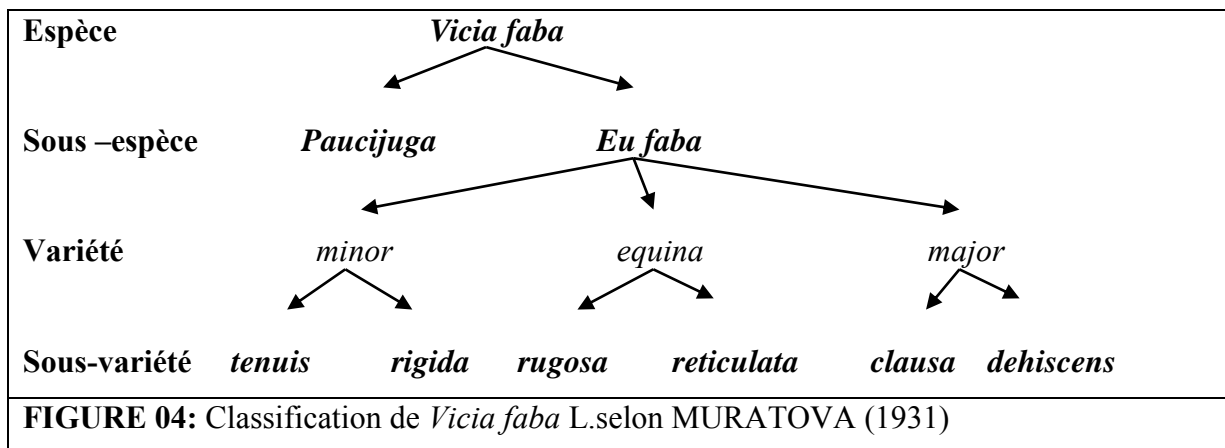
*La présence de facteurs antinutritionnels (inhibiteurs de la trypsine, lectines) ; mais ceux-ci de nature protéique (donc thermolabiles) sont détruits lors de la cuisson.

2.2.Fèverole

Fèverole (*Vicia faba L*) est largement cultivée au Moyen-Orient et la région méditerranéenne (GORDILLO, 1991; CHILLO *et al.*, 2008). Il est utilisé comme complément protéique pour l'alimentation humaine ou animale (KAYSI et MELCION, 1992). La graine de féverole, de forme grossièrement ovale (grand axesur diamètre = 11 à 14 mm sur 7 à 9 mm), est constituée en première approximation, d'un tégument ("la coque"), et de cotylédons ("l'amande") (WANG et UEBERSCHÄR 1990).

2.2.1. Classification botanique de la féverole

La féverole est une espèce dont la classification prête encore aujourd'hui à discussion. Un consensus est cependant généralement trouvé sur la classification de MURATOVA (1931) qui subdivise l'espèce en deux sous espèces, *paucijuga* et *eu-faba*. Dans le groupe *eu-faba*, cette classification distingue trois variétés botaniques : *V.faba minor*, *V.faba equina*, *V.faba major* (figure 04).



2.2.2. Composition de la féverole

Il contient 25 à 30% de protéines brutes, 40-50% de glucides et 10-15% de lipides brut (MACARULLA *et al.*, 2001). La féverole riche en matières azotées et en amidon, elle contient un certain nombre de facteurs antinutritionnels. La composition moyenne de la graine est donnée dans le Tableau 08.

Composition chimique	Teneur en % de MS
Humidité	12,8
Matières azotées totales	31,1
Matières grasses	2,0
Cellulose brute	2,1
Amidon	48,8
Cendres	4,2
Activité antitrypsique (UTI/mg de MS)	4,9

MS : Masse sèche

2.2.3. Valeur nutritionnelle de la féverole

La valeur nutritionnelle de la féverole a été traditionnellement attribuée à sa teneur élevée en protéines, qui varie de 20% à 37% (CREPON *et al.*, 2010). La plupart de ces protéines sont des globulines (60%), les albumines (20%), glutélines (15%) et de prolamines. En outre, la féverole est également une bonne source de sucres, minéraux (Ca, Mg, Fe et Zn), des vitamines (complexe B, la vitamine C et la vitamine A) (SOBRINI *et al.*, 1982). Ainsi, l'analyse chimique de cette légumineuse révèle une teneur en glucides de 50-60%, ce qui est principalement de l'amidon. La féverole est riche en tanins et deux dérivés d'aminopyrimidine glucosidiques, V et C et contient aussi un grande quantité d'ascorbate et des quantités variables de la L-dopa glucoside (ARESE et DE FLORA, 1990).

3.ASSOCIATION DES CEREALES ET DES LEGUMINEUSES

L'association des céréales et des légumineuses se retrouve dans les traditions culinaires de nombreux pays : riz et soja en Extrême-Orient, couscous et pois-chiches en Afrique du Nord, maïs et haricots secs en Amérique, mil et niébés (haricots africains) en Afrique noire, blé, orge, seigle, avoine et haricots secs, lentilles, fèves, pois cassés en Europe (MICARD *et al.*, 2010)

Les légumes secs constituent pourtant une source intéressante de protéines permettant de compléter les apports protéiques dus aux céréales et tubercules (SIRET, 2004 ; BENATALLAH *et al.*, 2012). Ils contiennent une quantité élevée de la lysine, la leucine, l'acide aspartique, l'acide glutamique et l'arginine, et de fournir des profils bien équilibrés d'acides aminés essentiels lorsque consommée avec des céréales et d'autres aliments riches en acides aminés soufrés et en tryptophane. En dehors de leurs propriétés nutritionnelles, les protéines de légumineuses possèdent également des propriétés fonctionnelles qui jouent un rôle important dans la formulation et la transformation des aliments (BOYE *et al.*, 2010 ; DAKIA *et al.*, 2007 ; ROY *et al.*, 2010). Certaines propriétés fonctionnelles comprennent la solubilité, la capacité de rétention d'eau et la matière grasse, pouvoir moussant et pouvoir émulsifiant (MIÑARRO VIVAS *et al.*, 2013).

CHAPITRE 3 .PAIN PLAT

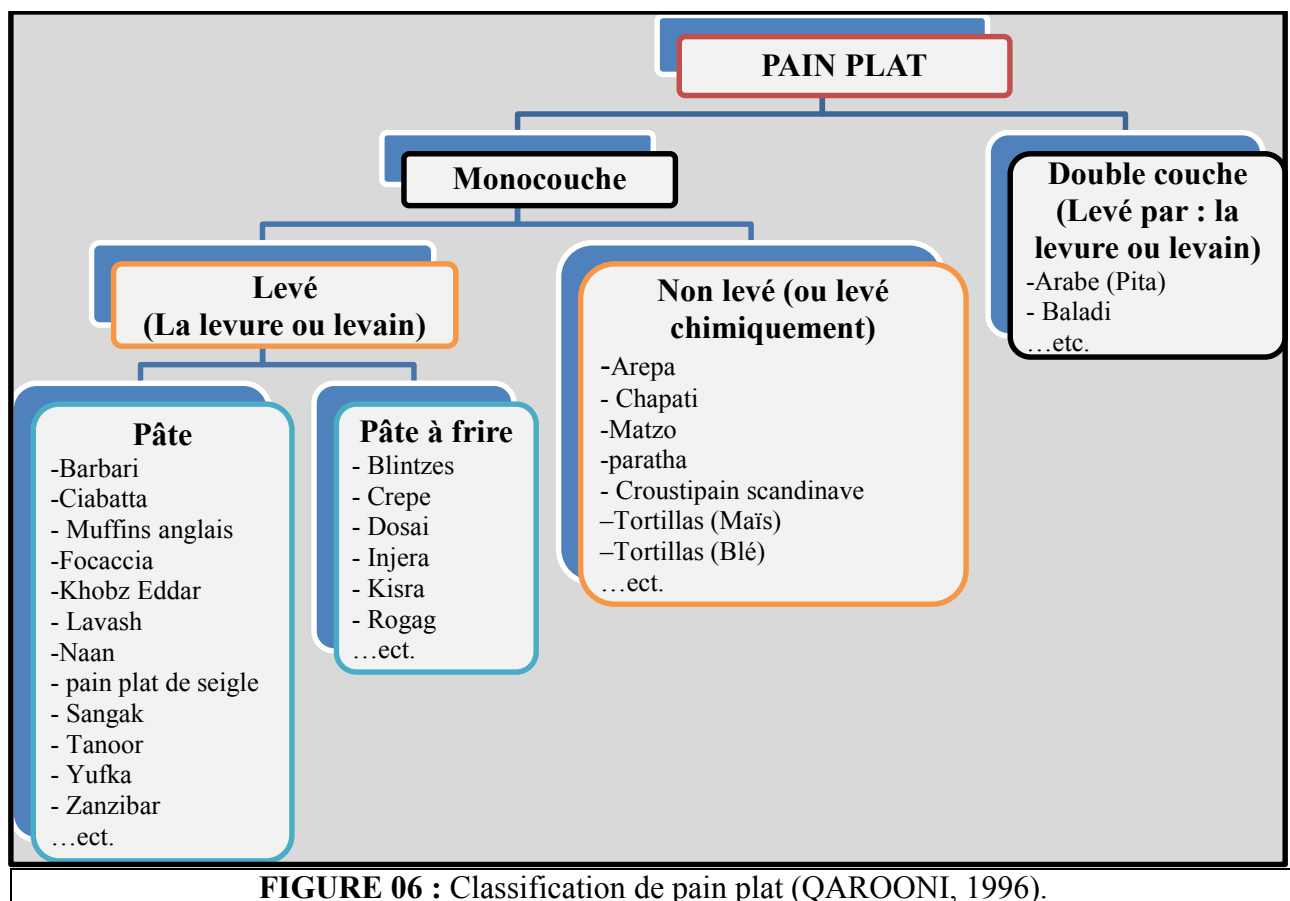
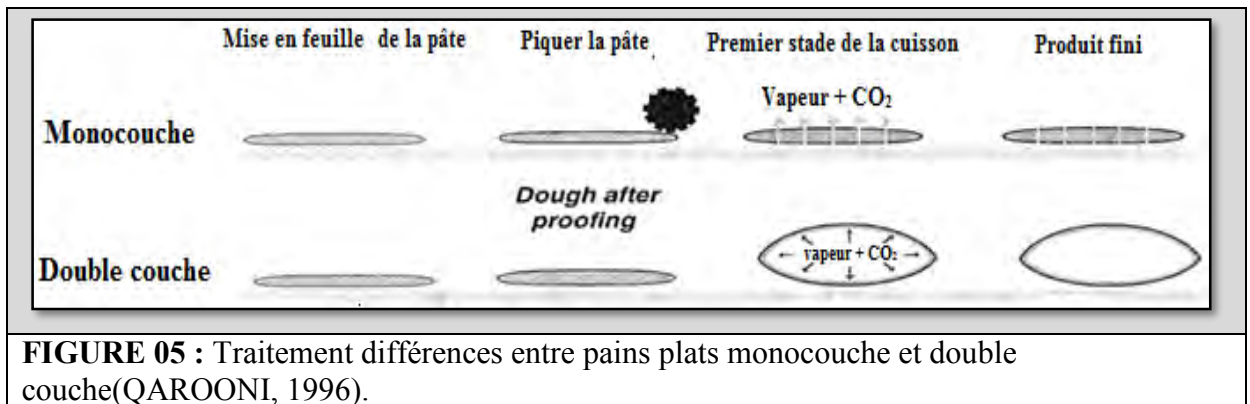
1.PAINS PLATS

Le pain est consommé en grande quantité dans le monde dans des types et des formes différents selon des habitudes culturelles (CAYOT, 2007). Dans de nombreux pays, le pain est classifié en tant que produit fait à partir de levure. Les produits à base de céréales qui sont soit sans levain ou fait lever avec levain ou agents chimiques ne sont pas classés comme du pain. Dans d'autres pays, cependant, les produits faits lever de levain et sans levain sont consommés comme pain quotidien (QAROONI, 1996).

Pains plats sont probablement les produits les plus anciens, les plus diversifiées et les plus populaires dans le monde. Le nombre de personnes qui consomment différents types de pain plat traditionnel atteint plus 1,8 billion. La popularité de ces pains traditionnels est en croissance en raison à la population ethnique, une demande plus élevée pour les pains exotiques, sains et naturels (QAROONI, 1996).

Pains plats se répartissent en deux groupes principaux (Figure 05): Monocouche et double couche.

Pains plats double couche sont faits lever avec de la levure. Ils peuvent être ronds oblongues, lisses ou grumeleux, nature ou assaisonnés (QAROONI, 1996 ; GOCMEN *et al.*, 2009). La classification des pains plats est illustrée dans la Figure 06.



1.1.Pains plats traditionnels algériens

En Algérie, les femmes au foyer produisent deux types de pain plat à base de blé dur, *Kesra* et *Khobz Eddar* (KEZIH *et al.*, 2014 ; AUZIAS *et* LABOURDETTE, 2009).

1.1.1.Kesra

Cela signifie fraction. Elle comprend quatre types de pain plat cuit à la maison : mathlouaa, maadjouna, rakhsis et harcha. Ces appellations varient dans toute l'Algérie, mais les recettes et les diagrammes sont semblables.

1.1.2.Khobz Eddar

Cela signifie littéralement pain de maison (DAGHER, 1991 ; MILDRED, 2001), diffère de kesra par son recette (en gras, les œufs et certains additifs) et par son diagramme de fabrication (DAGHER, 1991).

Ce pain traditionnel est préparé lors des grandes célébrations comme les mariages et les fêtes religieuses. Il est plus difficile à faire parce que sa recette sophistiquée (fine semoule, graisse, lait, sel, levure, œuf, sésame et graines de nigelle). Le pain est cuit dans un four de la boulangerie ou four ménager. Le produit fini a une croûte croustillante et une mie tendre et délicieuse (CHERIET, 2000).

1.2.Ingrédients de pain plat

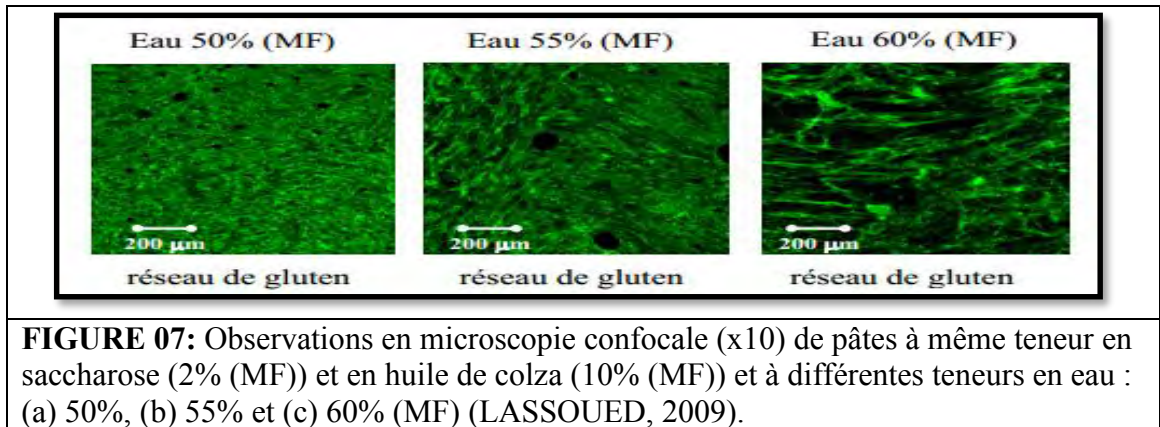
Les quatre ingrédients de base de pain plat sont la farine ou de la semoule, l'eau, le sel et la levure (AL-DMOOR, 2012).

a)Farine et semoule

Elles proviennent de différents types de grains de céréales (QAROONI *et al.*, 1989) : le blé, le sorgho, mil, maïs, seigle, orge, avoine et riz (QAROONI, 1996). La semoule de blé dur à utiliser en particulier dans les pays méditerranéens (QUAGLIA,1988 ; LICCIARDELLO, 2013 ; NAZCO,2014).

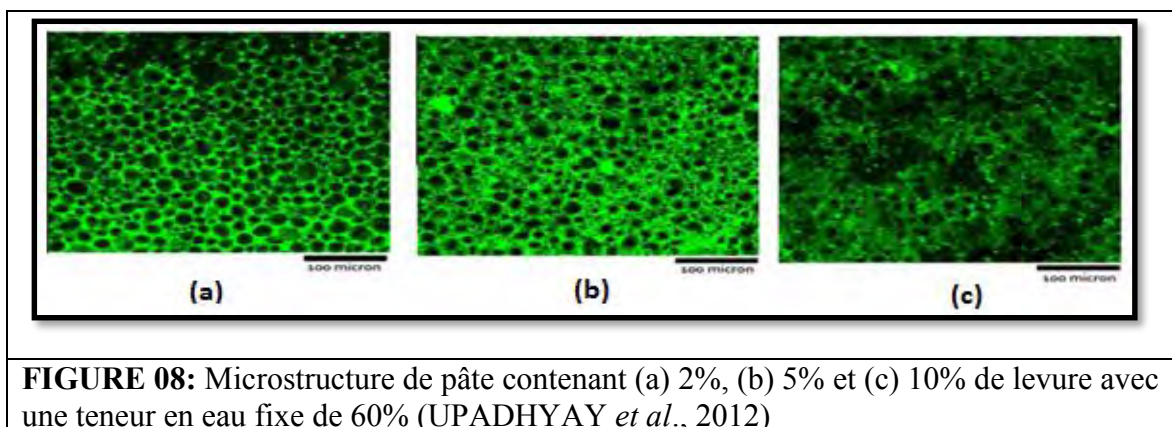
b)Eau

Il est ajouté en fonction de la protéine de la farine et ou semoule et de la variété de blé. L'eau influence indirectement la rétention gazeuse, une pâte à 35% de teneur en eau totale n'est plus capable de retenir les bulles gazeuses introduites en cours de pétrissage. Cette capacité de rétention gazeuse augmente ensuite linéairement lorsque la teneur en eau de la pâte est augmentée au-dessus de cette valeur jusqu'à 44% (GAN *et al.*, 1995). Lorsque la teneur en eau augmente de 62 à 120% (Masse Fraîche (MF), le produit ne s'expande quasiment plus et ne cuit plus (évaporation d'une quantité d'eau insuffisante) (LASSOUED, 2009, Figure 07).



c) Levure (*Saccharomyces cerevisiae*)

La levure est l'agent levant le plus utilisé pour la production de pain. La levure de boulangerie est un ingrédient naturel qui ne doit pas être confondu avec levure chimique. Elle est essentiellement utilisée en panification à une quantité de 1 à 2,5% du poids de la farine. (KIGER *et al.*, 1968). Avec une augmentation de la concentration de levure, la taille des bulles devient plus petite de 23 à 17 µm, ceci est peut-être parce que la concentration de levure augmente le taux de production de CO₂ et la sursaturation entraînent une augmentation des taux des bulles. Il en résulte une baisse des tailles de bulles (UPADHYAY *et al.*, 2012, Figure 08).



d) Sel

Le sel alimentaire (Na Cl) est présent dans la plupart des produits de panification à raison de 2% du poids de la farine en moyenne (ROUSSEL et CHIRON, 2002). Il joue un rôle important à deux niveaux. Il donne aux pâtes une plus grande fermeté et une meilleure élasticité, mais il retarde l'action de la levure. Plus la quantité de sel est grande, plus le temps de fermentation s'allonge (LANGRAF, 2002). Il va agir sur les protéines et créer des liaisons de type ionique, ce qui entraîne la formation de liaisons entre les protéines et assure ainsi une

meilleure stabilité et résistance du gluten (BROCHOIRE, 2003). Selon le moment du pétrissage où on l'incorpore, il modifie la couleur de la mie. En ce qui concerne le pain, il en améliore le goût. Il favorise la coloration de la croûte et son croustillant (LANGRAF, 2002).

1.3. Ingrédients additionnels

Les ingrédients additionnels peuvent être utilisés pour ajouter de nouvelles saveurs, améliorer la qualité, l'augmentation de la valeur nutritive du pain et comme auxiliaires technologiques qui aident le processus de panification (AL-DMOOR, 2012).

a) Lait

Le lait est souvent ajouté pour conférer des propriétés sensorielles attractives (AL-DMOOR, 2012).

b) Huile et la matière grasse

Les matières grasses sont utilisées en faible quantité en panification. Elles améliorent le volume, la texture et la croûte, maintiennent la qualité du pain et rendent la pâte plus élastique. Sur le plan organoleptique, les corps gras confèrent au produit une saveur et un arôme particuliers (KIGER *et al.*, 1968).

L'incorporation de la matière grasse entraîne la lubrification des constituants du milieu, notamment les molécules de protéines et les grains d'amidon, influençant ainsi largement la consistance et les propriétés rhéologiques de la pâte en sortie de pétrissage. Les conséquences directes de cet affaiblissement de consistance sont la facilité de capture de l'air et une augmentation de son entraînement en cours de pétrissage (MENARD *et al.*, 1992). Cette aération se fait par une multitude de bulles d'air qui sont les précurseurs des alvéoles de la mie (DE REYNAL, 2009).

La matière grasse serait alors en contact direct avec le gaz et formerait un film continu autour de la bulle permettant sa stabilisation vis-à-vis de la coalescence, BROOKER (1996) suppose qu'au moment du pétrissage et durant la fermentation, les cristaux ne feraient qu'envelopper les cellules gazeuses (Figure 09). Leur action de stabilisation des bulles gazeuses se situerait principalement pendant la cuisson. La matière grasse permet de retarder le début de perte de dioxyde de carbone pour qu'il y ait un commencement de rigidification de la matrice et de formation de la croûte et éviter ainsi un affaissement du produit en fin de cuisson (DANIELS et FISHER, 1976).

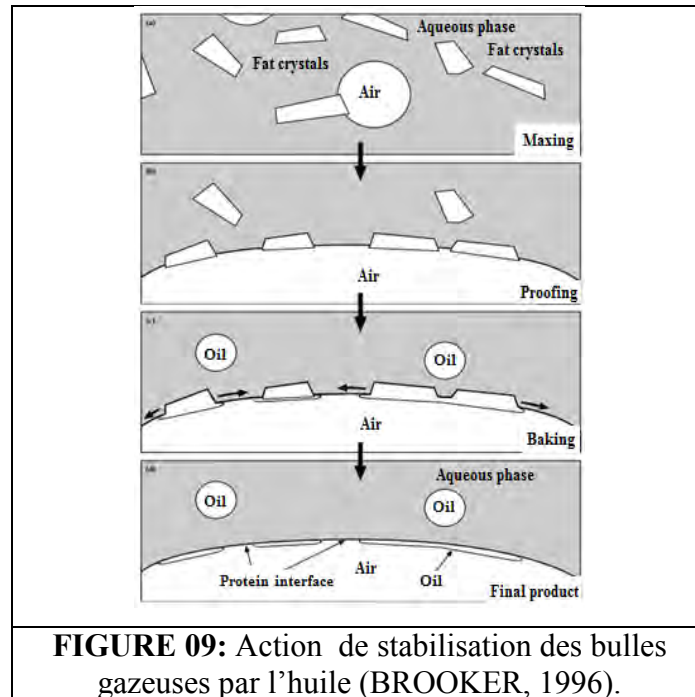


FIGURE 09: Action de stabilisation des bulles gazeuses par l'huile (BROOKER, 1996).

c) Œufs

Les œufs sont une bonne source des protéines de haute qualité et des vitamines liposolubles A, D et E. Ils sont une source particulièrement riche en vitamines B₁₂, B₂, de folate, de minéraux que le corps humain a besoin tels que l'iode, le phosphore, le sélénium, le zinc et le fer (AL-DMOOR, 2012). En boulangerie l'œuf permet l'incorporation d'air dans la matrice, de promouvoir la stabilité de la mousse pendant le pétrissage, et participer à la formation de gel lors de la cuisson au four.

Comme œuf est battu, air incorporé dans le liquide pour former des mousses avec des bulles qui diminuent de taille et d'augmenter en nombre (KIM et SETSER, 1982). Les petites bulles aura une pression de gaz plus élevée et par conséquent la concentration de gaz plus élevée, ce qui provoque la diffusion de gaz du petit au grandes bulles (HAMMERSHOJ *et al.*, 1999).

Œuf entier et le jaune d'œuf également former des mousses, mais ils ne sont pas aussi efficaces que le blanc d'œuf (TONEY et BERGQUIST, 1983).

Bien que l'œuf n'est pas habituellement ajouté dans des formulations de pain de blé, son inclusion dans les pains sans gluten est plus courant. MOORE *et al* (2004) ont étudié différentes formulations de Pain Sans Gluten (PSG) et a observé un réseau continu de protéine similaire au gluten dans les pains contenant œuf. Ces principaux inconvénients : l'allergénicité, le coût économique et risques de sécurité.

d) Oxygène

L'oxygène est souvent oublié puisqu'il est présent dans l'air. Or, c'est un acteur indispensable pour les réactions d'oxydation. Des pâtes pétries sous atmosphère pauvre en oxygène se développent peu (GRAVELAND *et al.*, 1985). Actuellement, l'importance de l'O₂ est de plus en plus considérée (EYOUM *et al.*, 2003).

c) Sésame

Les graines de sésame sont parfois ajoutées aux pains plats. Les graines de sésame sont exceptionnellement riches en fer, le magnésium, le manganèse, le cuivre et le calcium, et contiennent de la vitamine B₁ et la vitamine E. Ils contiennent des lignanes, y compris un contenu unique de sésamine, qui comprend phytoestrogènes possédant des propriétés antioxydantes et anti-cancéreuses (AL-DMOOR, 2012).

d) Graines de nigelle

Graines noires contiennent de nombreux esters d'acides gras insaturés et leur composition chimique est très riche et diversifiée. En dehors de leur principe actif, nigellone cristalline, ils contiennent 15 acides aminés, des glucides, des acides gras, y compris linoléique et oléique, les huiles volatiles, les alcaloïdes et les fibres alimentaires, ainsi que des minéraux tels que le calcium, le fer, sodium et potassium. Autres avantages, les graines noires sont des antibiotiques, anti-tumorale, anti-inflammatoire, anti-histaminique, anti-bactérien, et anti-bronchique (ILAIYARAJA et KHANUM, 2010).

CHAPITRE 4 .PROCESSUS DE PANIFICATION

1.De la semoule au pain

Dans la production traditionnelle de pain au niveau de la maison, les pâtes sont mélangés manuellement, autorisés à subir une fermentation en vrac, divisés et arrondis à la main, et se reposait sur une surface plane, puis mis en forme en utilisant la main et les doigts. Les morceaux de pâte aplatis sont ensuite placés sur des planches de bois pour la phase de la fermentation finale. La pâte est ensuite placée dans le four pour la cuisson jusqu'à ce qu'il développe la couleur de la croûte appropriée. Le système de production automatique ou semi-automatique s'applique à la production de pain plat (AL-DMOOR, 2012).

Le processus de fabrication des produits de panification comprend trois étapes essentielles : le pétrissage, la fermentation et la cuisson. A chaque étape de ce processus, l'évolution des propriétés rhéologiques du produit est la conséquence directe des changements de structure aux différentes échelles (moléculaire et microscopique) (BLOKSMA, 1990).

1.1.Pétrissage

Pendant le pétrissage, la pâte est développée par l'application de cisaillement et d'extension. Le pétrissage (intensité et durée) influence largement à la fois les propriétés de la phase dispersée gazeuse (nombre et taille des bulles) et les propriétés rhéologiques de la phase continue (viscoélasticité, consistance, extensibilité ...) (MAC RITCHIE, 1986). Le pétrissage dans la fabrication de la pâte à pain permet d'une part l'absorption de l'eau par les protéines et les grains d'amidon endommagés contenus de la farine, réorganiser les protéines en un réseau viscoélastique, qui va contrôler l'expansion de la pâte pendant la fermentation, le développement de l'élasticité du gluten par un mécanisme d'oxydation à l'air des groupements sulphydriles des acides aminés soufrés de la farine (groupement - SH de la cystéine) et l'introduction de la phase gazeuse (VERON,2000 ; REMESY *et al.*, 2015).

Les capacités de piégeage du CO₂ par le gluten des blés modernes sont potentialisées par un pétrissage qui reste souvent inutilement long et intensif. Il faudrait donc éviter de former un réseau de gluten trop résistant en réduisant au strict minimum le pétrissage. C'est une économie d'énergie, c'est une manière d'améliorer l'index glycémique en limitant l'incorporation d'air et un développement important de la mie pendant la fermentation, c'est aussi sans doute un moyen de faciliter la digestion pancréatique du gluten (REMESY *et al.*, 2015).

Certains pains nécessitent un temps de repos. Pendant le repos, la rhéologie de la pâte peut être affectée par de nombreux facteurs: la relaxation des contraintes générées lors du mélange, de la redistribution de l'eau par diffusion de masse, l'activité enzymatique et sulphhydryle disulfure échange (DONG et HOSENEY, 1995). Les particules de gluten s'hydratent, se lient entre elles et surtout s'assouplissent. On obtient des fibrilles de gluten bien soudées et souples qui se travaillent plus facilement au pétrin et au moment du façonnage (LANGRAF, 2002).

1.2.Fermentation

La fermentation apporte à la pâte le dioxyde de carbone et des arômes (LANGRAF, 2002). Les effets combinés du développement d'acidité, et les processus enzymatiques et d'oxydoréduction, entraînant de modifications des propriétés physiques de la pâte (KULP, 1988). La plus grande partie de la fermentation se déroule au cœur de la pâte, dans un milieu privé d'air (LANGRAF, 2002). Pendant l'étape de fermentation en masse, puis après division, le CO₂ produit par les levures est retenu par la pâte, de façon à former une mousse solide de faible densité permet l'augmentation de la fraction volumique gazeuse.

La capacité de rétention de CO₂ est liée à la quantité d'air incorporée lors du pétrissage. En effet, c'est à partir de nuclei d'air que le CO₂ produit par la levure va diffuser et faire lever la pâte. Il faut aussi noter que la levure est incapable de produire de nouvelles alvéoles d'air (BAKER et MIZE, 1941).

1.3.Cuisson

Le pain est un milieu complexe au sein duquel prennent naissance de nombreux phénomènes physiques durant la cuisson, notamment des transferts de chaleur et de masse (CO₂, eau sous forme liquide et vapeur), des phénomènes de gonflement avec la formation d'une structure alvéolaire et différentes réactions physico-chimiques (gélatinisation, réaction de Maillard...) Pendant l'étape de cuisson, deux phases principales se succèdent. La première, où le volume du pain augmente par expansion du gaz produit lors de la fermentation. La seconde, où se produisent l'arrêt de l'expansion et le maintien de la structure, après dénaturation thermique des protéines (gluten) et gélatinisation de l'amidon.

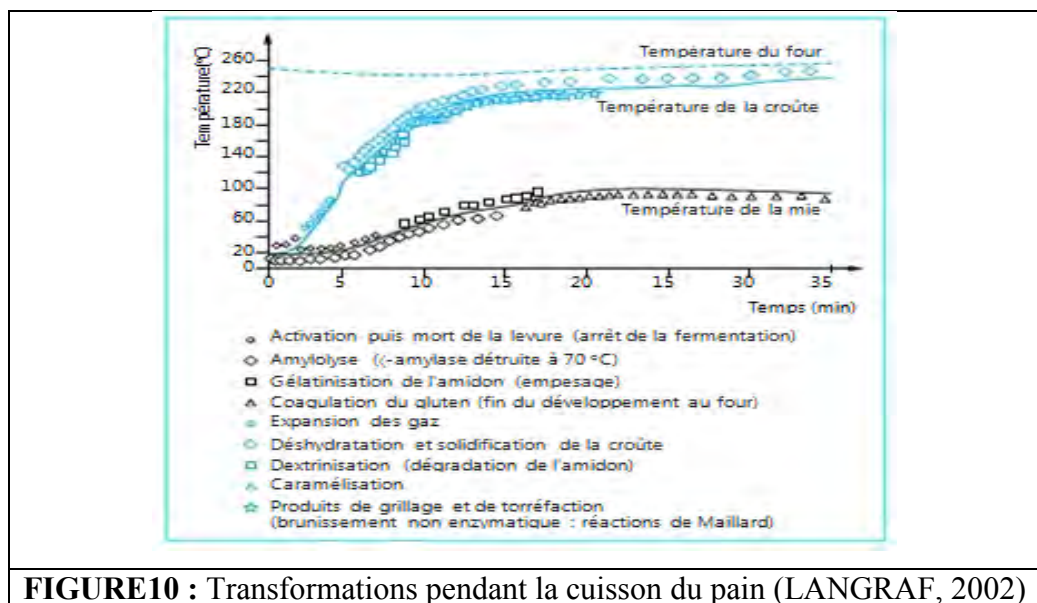


FIGURE10 : Transformations pendant la cuisson du pain (LANGRAF, 2002)

On distingue trois étapes, en fonction des températures observées à l'intérieur même du pain (LANGRAF, 2002, Figure 10) :

-Jusqu'à 50 °C, la fermentation est accélérée puis arrêtée ;

-De 50 à 80 °C, il y a formation d'un empis d'amidon et coagulation du gluten.

Le développement du pain est terminé ;

-De 80 à 100 °C, il y a caramélisation et réaction de Maillard. Cette réaction correspond à un brunissement du pain en surface.

2.PRODUCTION DE GAZ ET ALVEOLATION

Quel que soit le procédé de cuisson employé, la texturation des produits céréaliers conduit à des produits le plus souvent alvéolaires, c'est-à-dire de masse volumique faible par rapport à la matière première qui les compose, acquise sous l'effet de l'expansion liée à un apport gazeux accru par des transferts de chaleur.

Il est important de distinguer entre la production de gaz et la rétention gazeuse des pâtes fermentées (CAUVAIN, 2003). Le premier facteur est contrôlé par la performance de la levure et le dernier dépend des caractéristiques de bulles.

La création de la texture alvéolaire du pain repose sur un enchaînement de phénomènes, aux CINÉTIQUES variables et distinctes (DELLA VALLE *et al.*, 2003):

- (a) Naissance des bulles par nucléation (ou cavitation) au sein d'une matrice semi-solide (la pâte) liée à l'hétérogénéité de départ de la matière (présence de solide ou d'air occlus) ou à l'incorporation d'air (pétrissage);
- (b) Croissance de bulles par production de gaz;
- (c) Rupture de parois et évaporation de gaz, avant solidification, qui peut-être partielle, d'où un effondrement ou rétractation avant acquisition de la texture finale.

Les alvéoles gazeuses sont présentes dès la formation de la pâte à pain. Pendant le pétrissage, de l'air est incorporé à la pâte sous forme de minuscules bulles (< 10µ m) soit 15 à 20% en volume du volume final de la pâte (STAUFFER, 1993).

Les alvéoles sont principalement alimentées par la production de CO₂ gazeux par les mécanismes de fermentation induits par la levure. Le moyen le plus universel de générer des gaz est *Saccharomyces cerevisiae*, qui fournit 0,49 g de CO₂ à partir de 1 g de glucose selon l'équation :



Les gaz générés par les agents levants diffusent vers les alvéoles déjà existantes.

3. MECANISMES D'EXPANSION

*Au début de la cuisson, la levure continue à produire du CO₂ jusqu'à sa température de désactivation aux alentours de 50°C. Le CO₂ et l'éthanol produits et dissous dans la pâte s'évaporent et enrichissent la phase gazeuse.

*Les conditions hydriques du milieu environnant (air plus ou moins sec) peuvent impliquer un gradient de concentration en eau qui serait à l'origine de la diffusion d'eau dans la pâte sous forme liquide. Cette diffusion de l'eau se fait en contournant les bulles gazeuses.

*A partir de 60°C, l'eau diffuse vers les cellules gazeuses et s'évapore. Cette vapeur d'eau diffuse sous l'effet d'un gradient de pression partielle de vapeur d'eau.

D'un côté, l'augmentation continue de la température de la pâte entraîne un accroissement de la pression de vapeur saturante dans la pâte même. De plus, la différence de température entre la surface et le cœur du produit est à l'origine d'une pression partielle de vapeur d'eau plus importante en surface. La vapeur d'eau diffuse alors au travers du CO₂ contenu dans la bulle, rencontre un film de pâte à une température plus faible, se condense et diffuse sous forme liquide au travers du même film. Ce film de pâte séparant deux bulles proches, l'eau peut s'évaporer à nouveau dans la bulle à plus faible température : C'est le phénomène d'évapo-condensation.

* Simultanément, sous l'effet de l'augmentation de la température et conformément à la loi de Gay-Lussac, les gaz inclus dans les cellules s'expansent. L'expansion thermique est le facteur qui participe le moins à cette expansion. Aux basses températures, c'est l'évaporation du CO₂ qui apporte la plus large contribution, et aux températures plus élevées (> 60°C), c'est plutôt l'évaporation de l'eau (BLOKSMA, 1986). L'arrêt de cette expansion se situerait vers 70°C (BLOKSMA, 1990). MOORE et HOSENEY (1985) la situaient à une température plus élevée vers 80°C mais en négligeant la participation de la vapeur d'eau.

CHAPITRE 5. PAIN SANS GLUTEN

1. PAIN SANS GLUTEN

Au cours des dernières années il ya eu un intérêt croissant sur les pains sans gluten. Les pains sans gluten sont surtout connus pour leur qualité inférieure par rapport aux pains de blé. Parmi les céréales, seuls le maïs et le riz peuvent être utilisés en substitution du blé dans l'alimentation (FRIC *et al.*, 2011). L'absence de gluten a un impact sur la formation des cellules, les caractéristiques de la mie et la croûte, le volume, la porosité et la saveur (SIVARAMAKRISHNAN *et al.*, 2004 ; HAMAKER BRUCE, 2008) .

2. AMELIORANTS

La fabrication du pain résulte de la mise en œuvre de farine ou semoule, d'eau, de levure, de sel et, de nos jours, dans la plupart des cas, d'améliorants.

Le manque de produits sans gluten a encouragé les chercheurs à examiner de nouveaux ingrédients et des technologies qui reproduisent des propriétés du gluten et d'améliorer la qualité des produits de boulangerie sans gluten.

Le gluten peut être remplacé par des matières synthétiques ou naturelles (MAHMOUD *et al.*, 2013) , donc les pains sans gluten ont besoin des stabilisants, des gommés et des amidons ou farine pré-gélatinisé pour piéger et maintenir le gaz (HAMAKER BRUCE, 2008).

Un bon équilibre des propriétés viscoélastiques est important lors de la fabrication du pain plat (AL-DMOOR, 2012). Certains types de farine et d'amidon (riz, le maïs, le manioc, le soja, le millet, la pomme de terre et d'arachide) et certains matériaux tels que des hydrocolloïdes, des enzymes (la transglutaminase et lipoxygénases), le soja, d'oeuf et protéines de lait ont été utilisées pour imiter les propriétés viscoélastiques de gluten (BASMAN *et al.*, 2002 ; HOUBEN *et al.*, 2012) .

3.AMÉLIORANTS NATURELLES DU VOLUME SPÉCIFIQUE DU PAIN SANS GLUTEN

Le développement de produits de boulangerie sans gluten a impliqué l'utilisation des améliorants naturels comme les protéines végétale et animale, amidon, farine...etc. pour améliorer l'expansion gazeuse du PSG. Le Tableau 09 suivant indique des améliorants naturels utilisé pour l'amélioration du PSG.

Références	Améliorants naturels
MATOS <i>et al.</i> , 2014	Isolat de protéine de soja, isolat de protéines de pois, la protéine de blanc d'œuf, la caséine
NELSON, 2001	Farine de psyllium, amidon de maïs, farine d'amarante, isolat de pois
GALLAGHER <i>et al.</i> , 2005	Amidon de pomme de terre
SHIBATA <i>et al.</i> , 2011	Bouillie de riz
IWASHITA <i>et al.</i> , 2011	Riz cuit
YVONNE, 2007	Tang zhong
ROCHA PARRA <i>et al.</i> , 2015	Marc de pomme
AGUILAR <i>et al.</i> , 2015	Pois chiche
O'SHEA <i>et al.</i> , 2015	Marc d'orange

4.TANG ZHONG (FARINE PREGELATINISE)

Tangzhong ou la Farine Prégélatinisé (FP) représente une forme de "colle de farine", C'est une méthode anciennement utilisée par les boulangers , et qui consiste à précuire une partie de farine et d'eau à 65°C (149 °F) avec un rapport de 1:5 puis l'ajouter aux reste des ingrédients de la pâte (YVONNE, 2007., DELCOURT et LEFIEF, 2013., HERBERTH, 2013).

L'amidon agit comme un liant à la place du gluten. Il semble avoir un potentiel pour améliorer la propriété viscoélastique de la pâte et piéger les bulles de gaz de CO₂ produites

lors de la fermentation (PONGJARUVAT *et al.*, 2014), SHIBATAA *et al* (2011), ont confirmé que les pains contenant du riz gélatinisé ont une expansion de la pâte plus élevée et une bonne texture sans additif améliorant tels que le gluten.

5. TRANSFORMATION DE L'AMIDON

A température ambiante, l'eau pénètre plus facilement dans les régions amorphes des grains et interagit avec les molécules d'amidon par l'intermédiaire de liaisons hydrogène, ce qui conduit à un léger gonflement des granules, qui est toutefois réversible (NAYOUF, 2003). A des températures supérieures à 60 °C et en présence d'un excès d'eau (> 60%), les grains d'amidon subissent un processus complexe: gonflement irréversible du grain dû à la rupture des liaisons hydrogène (ZOBEL *et al.*, 1988; DONOVAN, 1979), solubilisation du contenu granulaire et perte de la structure semi-cristalline du grain d'amidon. Au cours du refroidissement, l'amidon gélatinisé forme un gel.

A partir de 55-65°C, les granules d'amidon commencent à se déstructurer, ses constituants macromoléculaires se dispersent et se solubilisent. La viscosité du milieu augmente fortement, il s'agit du phénomène de gélatinisation (Tableau 10). Au refroidissement, l'empois devient plus visqueux et opaque. L'amylose s'agrège et forme un gel.

Le début de la viscosité de l'amidon en excès d'eau commence à environ 65 ° C lorsque les cristaux d'amylopectine commencent à fondre et hydrater les protéines (FITZGERALD et REINKE, 2006).

Amidon	Température de gélatinisation (°C)
Maïs normal	62-80
Maïs cireux	63-72
Amylomaïs	66-170
Pomme de terre	58-65
Tapioca	52-65
Blé	52-85
Riz	66-78

MATERIEL ET METHODES

1. SONDAGE

1.1. DESCRIPTION DE LA PHASE PRATIQUE DU SONDAGE

Un sondage est une enquête portant sur un sous-ensemble représentatif et dont les résultats sont généralisables à l'ensemble de la population. Il signifie aussi la méthode de choisir l'échantillon. Il s'appuie sur la notion de *représentativité*. On dit faire un sondage ou une enquête par sondage.

Le sondage est né d'une impossibilité pratique d'interroger individuellement toute une population à qui on s'intéresse, et d'une possibilité statistique de décrire le tout par la partie (SHOMBA KINYAMBA, 2006). Le sondage étant plus réduit, exige des sommes et des délais moindres. On peut l'effectuer avec un personnel réduit, ce qui permet d'atteindre les objectifs à peu de frais.

1.2. OBJECTIF DE SONDAGE

En Algérie, seules quelques études ont été réalisées sur les pains plats traditionnels, pour cela, il nous semblait intéressant de réaliser, une enquête par sondage en vue d'établir le diagramme type de fabrication du pain *khobz Eddar* dans la région de Constantine et les différents ingrédients entraînent dans sa fabrication.

1.3. PREPARATION ET REALISATION DE LA COLLECTE

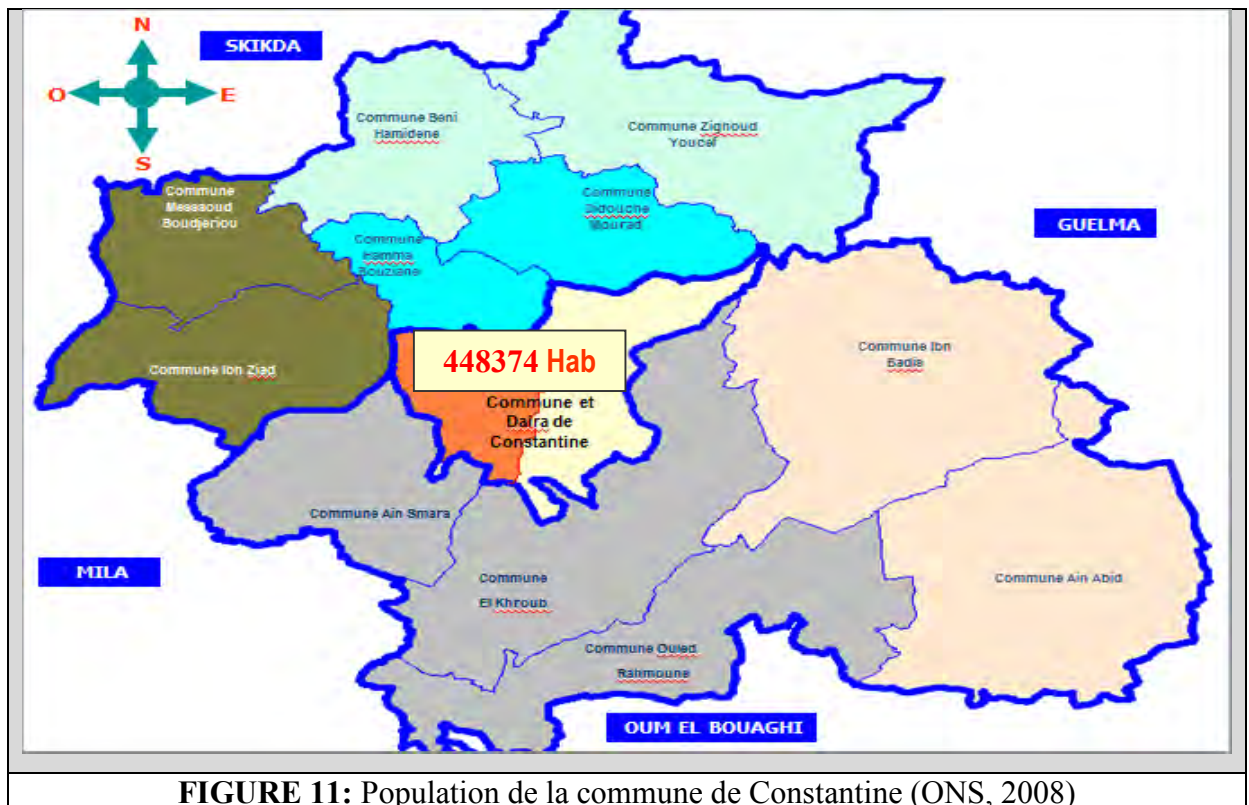
Pour organiser une enquête par sondage, il est important d'avoir une estimation des caractéristiques de la population à l'aide d'une étude auprès d'un sous-ensemble de cette population, appelé échantillon. Avant de commencer, nous avons d'abord défini le cadre d'étude, les personnes à interroger, déterminer les facteurs que nous avons pris en compte (lieu de résidence) et nous avons soumis le questionnaire. Enfin, nous sommes descendus sur le terrain. On a été contacté l'ONS (cité DAKSI Abdeslem), cette visite a été effectuée dans le but d'avoir une idée sur le nombre et la répartition de la population de la wilaya de Constantine et de délimiter l'aire de l'étude.

1.3.1. Cadre d'étude

L'étude a été réalisée dans la commune de Constantine au niveau de la wilaya de Constantine. Elle est composée de dix secteurs selon le journal officiel de la république algérienne N° 69 (JORA, 1991) : El Kantara, Ziadia, Sidi Mabrouk, El Gamas, les muriers, Belle Vue, 5 Juillet, Salah Boudraa, Abdemalak Kitouni, Sidi Rached. Selon ONS (2008), la population de la commune de Constantine est estimée à 448374 habitants avec 225621 femmes et 222753 hommes (Figure 10, ANNEXE 1).

Notre population d'étude a été réduite à la commune de Constantine pour des raisons suivantes :

- L'impossibilité d'enquêter toute la population à cause de leur nombre élevé ;
- Nombre d'habitants de la commune de Constantine est très important par rapport aux autres communes de la wilaya ;
- Contraintes liés au transport ;
- Facteur temps.



1.3.2. Unité de sondage

Khobz Eddar est un pain traditionnel algérien habituellement produit par les femmes. Donc une enquête par sondage, a porté sur 50 femmes ménagères de la commune de Constantine représentatives de la population mère, âgée de 25 ans et plus.

Pour éviter l'arbitraire dans le choix des femmes à questionner, nous avons trouvé bien à utiliser la méthode des quotas :

1. Recueillir des informations qui seraient au maximum détaillées ;
2. Respecter au mieux la règle de la représentativité.

La méthode de quota consiste à subdiviser la population à étudier en sous-ensembles qu'on peut distinguer à partir des effectifs respectifs connus. Ceux-ci multipliés par le taux de sondage donnant des quotas que nous avons respectés dans la détermination de l'échantillon.

Les quotas ont été définis à partir des données de L'ONS (2008) et sont présentés dans le Tableau 11. Ils ont été tirés des 10 secteurs de la commune de Constantine.

TABLEAU 11 : Distribution par secteur des femmes de la commune de Constantine

SECTEUR	EFFECTIF	%
5Juillet	16571	8,03
Bellevue	22543	10,93
Boudraa salah	24114	11,69
Gammas	23356	11,32
El Kantara	15378	7,45
Kitouni	11151	5,40
Les muriers	20880	10,12
Sidi mabrouk	33529	16,26
Sidi rached	15956	7,73
Ziadia	22694	11,00
TOTAL	206172	100

*Source :ONS, 2008

La taille de notre échantillon partira du nombre de 50 enquêtes répartira en 10 secteurs selon le pourcentage de répartition donnée par le tableau précédent (Tableau 12).

TABLEAU 12 : Distribution par secteur de l'échantillon d'étude

SECTEUR	%	EFFECTIF
5Juillet	8,03	4
Bellevue	10,93	5
Boudraa salah	11,69	6
Gammas	11,32	6
El Kantara	7,45	4
Kitouni	5,40	3
Les muriers	10,12	5
Sidi mabrouk	16,26	8
Sidi rached	7,73	4
Ziadia	11,00	5
TOTAL	100	50

1.3.3. Rédaction d'un questionnaire

La fiche de sondage a été élaborée sur une période de trois jours. Nous avons veillé à la progression des questions de manière à faciliter la compréhension du problème par les répondants avec les objectifs de sondage. Les questions d'ordre personnelle numéro, âge et secteur sont situés au début du questionnaire. La suite du questionnaire porte sur les différentes appellations de *khobz Eddar*, les ingrédients, leurs proportions pour la fabrication d'un pain et le type de semoule choisi, et enfin le questionnaire termine par les étapes de fabrication du *khobz Eddar* et le diagramme de fabrication (ANNEXE2). Nous avons limité les questions pour respecter une unité de présentation d'une page.

1.3.4. Technique de distribution des questionnaires

Pour collecter les données, nous avons utilisé comme la technique d'investigation l'interview face à face. La méthode choisie pour notre étude dépend le type des données à recueillir.

1.3.5. Durée de sondage

Sur le plan temporel, notre étude couvre une période allant du 15 mai au 10 juin 2014. La durée de sondage est de 8 à 15 minutes selon les individus et dépend de l'ampleur des discussions préalables. Certains répondants trouvent le temps très long et préfèrent abandonner.

1.4. PLAN DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE

Les données de notre étude provenant de terrain ont fait l'objet d'une vérification manuelle, d'abord pour se rendre compte de la complétude des réponses. Elles ont été ensuite saisies et analysées par Epi Info 7. Nous avons effectué une analyse descriptive des variables recueillies. Pour les variables quantitatives, nous avons calculé les moyennes et les pourcentages. Les masses des ingrédients, le temps de pétrissage, de fermentation, et de cuisson ont été moyennés.

1.5. RESULTATS ET DISCUSSION

L'âge des femmes enquêtées varie entre 25 et 64 ans, l'âge moyen étant de 43,6 ans. En analysant les résultats du sondage, on voit bien que 100 % des femmes des 10 secteurs sont connus *khobz Eddar*. La seule appellation utilisée et connue pour ce type de pain, c'est *khobz Eddar*. Sur l'ensemble des femmes enquêtées, 96% sont fabriquées *khobz Eddar* à la maison avec 36% sont l'acheter, ces résultats confirment que le pain *khobz Eddar* est un pain traditionnel algérien où il est préparé lors des grandes célébrations comme les mariages et les fêtes religieuses (CHERIET, 2000).

1.5.1. Matières premières entrant dans la fabrication du pain *khobz Eddar*

Le Tableau 13 montre que les ingrédients utilisés pour la fabrication du pain sont identiques pour toutes les femmes ménagères sauf pour la farine. Donc les principaux ingrédients utilisés sont : la semoule de blé dur, la levure, l'huile, le sel, l'eau, et autres ingrédients. Selon QUAGLIA, (1988), LICCIARDELLO *et al.*, (2013) et NAZCO *et al.*, (2014), la semoule de blé dur à utiliser en particulier dans les pays méditerranéens.

Les autres ingrédients utilisés dans la préparation du pain *khobz Eddar* se sont : œufs, lait, eau de fleur, eau de rose, beurre, sésame, et grain de nigelle. Les œufs (100%), sésame (100%), et grain de nigelle (52%) constituent les principaux ingrédients additionnels ajoutés (Tableau 14).

Selon les résultats du tableau 13 et 14 en dessous, nous avons constaté que les ingrédients utilisés en fabrication du *khobz Eddar* sont : la semoule, levure, sel, huile, eau, œuf, sésame et grain de nigelle.

TABLEAU 13 : Ingrédients utilisés en fabrication du pain <i>khobz Eddar</i>							
Ingrédient	Semoule	Farine	Levure	Huile	Sel	Eau	Autres
Réponses %	98	20	100	100	100	100	100

TABLEAU 14: Ingrédients additionnels utilisés en fabrication du <i>khobz Eddar</i>							
Ingrédient	Œufs	Beurre	eau de fleur	eau de rose	lait	Sésame	grain de nigelle
Réponses %	100	8	32	12	40	100	52

1.5.2. Utilisation des œufs

Les œufs ont été utilisés pour enduisage et comme ingrédient. L'emploi des œufs sert à dorer la croûte du pain où 100% des femmes ménagères ont été utilisées le jaune d'œuf pour enduisage et 76% des femmes ont été utilisées l'œuf entier comme ingrédient entrainant dans la préparation du pain *khobz Eddar* (Tableau15).

TABLEAU 15: Utilisation des œufs		
Utilisation des œufs	Comme ingrédient	Pour enduisage
Réponses %	76	100

1.5.3. Type de la semoule choisi

80% des femmes enquêtées utilisent de la semoule supérieure pour la préparation de *khobz Eddar* et 14% utilisent de semoule normale (Tableau 16). La plupart des femmes ont été utilisées la semoule supérieure pour sa qualité, pureté et pour avoir un pain de meilleure qualité (volume et couleur).

TABLEAU 16: Type de la semoule utilisé pour la préparation de <i>khobz Eddar</i>			
Type de la semoule	Supérieur	Normale	Peu importe
Réponses %	80	14	6

1.5.4. Quantités des ingrédients pour préparer 1 pain

La quantité du sel et de levure utilisée a été tirée de la littérature (2g de sel et 2g de levure pour 100g de semoule) et la quantité d'eau ajoutée a été déterminée par les essais préliminaires, il est ajouté en fonction de la protéine de la semoule et de la variété de blé. Les quantités de la semoule, de l'huile et des œufs utilisées pour la préparation du *khobz Eddar* ont été tirées à partir du sondage. Les quantités des ingrédients utilisées pour la préparation d'1 pain *khobz Eddar* ont été présentées dans le Tableau 17 au-dessous :

TABLEAU 17 : Les principaux ingrédients utilisés dans la fabrication du pain *khobz Eddar*

Ingrédients	Semoule (g)	Levure (g)	Huile (ml)	Sel (g)	Eau (ml)	Œuf (g)	Sésame	Nigelle
Quantité	500	10	100	10	Selon les essais préliminaires	50	Au choix	Au choix

1.5.5. Etapes de fabrication du pain *khobz Eddar* à base de blé dur d’après le sondage

La fabrication du *khobz Eddar* comporte principalement 3 étapes : pétrissage, fermentation et cuisson.

a)Pétrissage

Le pétrissage est la première phase du processus de production d'une pâte. Un mélange optimal est nécessaire pour obtenir une bonne qualité de pain plat (RUBENTHALER et FARIDI, 1982).Un mélange parfait est obtenu, lorsque la pâte acquiert des propriétés technologiques optimales due à la dispersion complète et l'hydratation de tous les composants et le développement du gluten (FAUBION et HOSENEY, 1990).

Khobz Eddar est un pain traditionnel fabriqué à la maison.84% des femmes ont été utilisées un pétrissage manuel (Tableau 18).

68% des femmes ont été utilisées un pétrissage en une seule étape avec une durée de 20 min de pétrissage manuel et 15 min de pétrissage avec machine. Le pain pétri à la main implique un temps de pétrissage assez long.

32% des femmes ont été utilisées un pétrissage qui dure en tout 25 min en deux étapes : le premier pétrissage a été duré 20 min et le deuxième pétrissage duré 15 min (10 min de pétrissage/ arrêt / 15 min de pétrissage, Tableau 19 et 20).

Selon AMR (1988), le temps de mélange dépend généralement du type de la farine ou la semoule utilisée, le type de pain produit et le type de mélangeur.

TABLEAU 18: Nombre de pétrissage

Nombre de pétrissage	Un fois	Deux fois
Réponses %	68	32

TABLEAU 19: Type de pétrissage

Type de pétrissage	Manuel	Avec machine
Réponses %	84	16

TABLEAU 20 : Durée de pétrissage

	Une fois		Deux fois	
	Manuel	Avec machine	1 ^{er} pétrissage	2 ^{eme} pétrissage
Durée (min)	20	15	10	15

b) Fermentation

Le Tableau (21) montre que 78% des femmes ont été laissées la pâte fermentée en une seule fois et 22% laissées la pâte fermenté en deux étapes.

La durée de fermentation est de 45 min pour une seule fermentation et de 10 min et 30 min pour la première et la deuxième fermentation respectivement à température ambiante (Tableau 22).

Traditionnellement, la pâte mélangée à la main, besoin une durée plus longue de fermentation, à cause de la faible intensité de mélange manuel qui a donné une pâte insuffisamment développée. QAROONI *et al.*, (1989), été découvert que l'augmentation de temps de fermentation de 30 min à 90 min produit des pain de meilleur qualité et le temps de fermentation intermédiaire dépend du type de pain, ou le pain arabe a besoin d'environ 10-15 min (SAMIR, 2008).

La température est l'un des facteurs les plus importants pour les réactions et l'activité de la levure. La vitesse de fermentation augmente avec la température, et inversement, elle diminue en l'absence de chaleur.

Deux facteurs peuvent modifier le temps de fermentation en température ambiante :

- La température de l'eau. Par temps chaud, on aura intérêt à utiliser de l'eau assez froide pour freiner la fermentation. Inversement, en hiver, il faudra utiliser de l'eau tiède pour la valoriser.
- Le dosage de la levure. Celui-ci, en général, est de l'ordre de 2 à 2,5 % du poids de la farine (20 à 25 g pour 1 kg). On peut l'augmenter ou le diminuer légèrement.

TABLEAU 21: Nombre de fermentation

Nombre	Un fois	Deux fois
Réponses %	78	22

TABLEAU 22 : Durée et température de fermentation

	Une fois	Deux fois	
		1 fermentation	2 fermentations
Durée (min)	45	10	30
Température (°C)	Ambiante	Ambiante	ambiante

C) Cuisson

80% des femmes ont été faites la cuisson du pain *khobz Eddar* dans un four à gaz (Tableau 24) .La cuisson a lieu à 230°C pendant 30 min ou 86 % des femmes ont été fait le moulage de la pâte dans un grand moule (Tableau 23 et 25).

Durée (min)	30
Température (°C)	230

Type de four	électrique	à gaz
Réponses %	20	80

Type de moule	Grand	Moyen	Petit
Réponses %	86	12	2

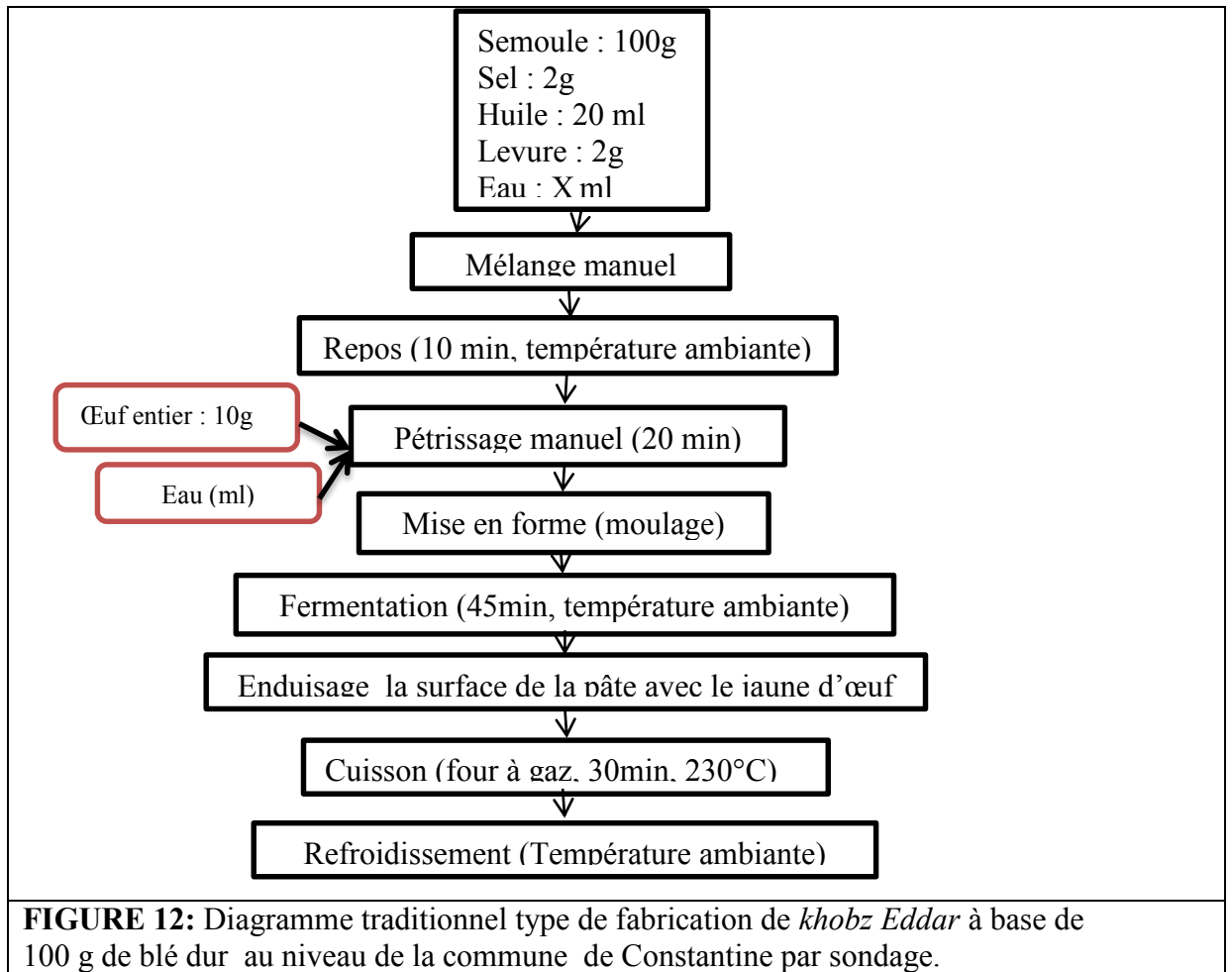
1.5.6. Diagramme traditionnel type de fabrication du pain *khobz Eddar* d'après le sondage

Les résultats de l'enquête par sondage montrent que *khobz Eddar* a été fabriqué à partir de la semoule de blé dur supérieur additionnée de sel, de levure, d'huile d'eau et d'œuf. Des informations complémentaires en été retiré des diagrammes de fabrication au cours du sondage :

- 1-L'eau utilisée pour la préparation du pain à une température de 40°C (tiède).Il a été ajouté à deux reprises au cours du mélange et au cours du pétrissage.
- 2-Le diagramme de fabrication comporte une étape de repos de 10 min, après le mélange des ingrédients et avant le pétrissage.
- 3-Les œufs et l'eau ont été ajoutés progressivement au cours du pétrissage.
- 4-Les grains du sésame et de nigelle ajoutée à la surface du pain.

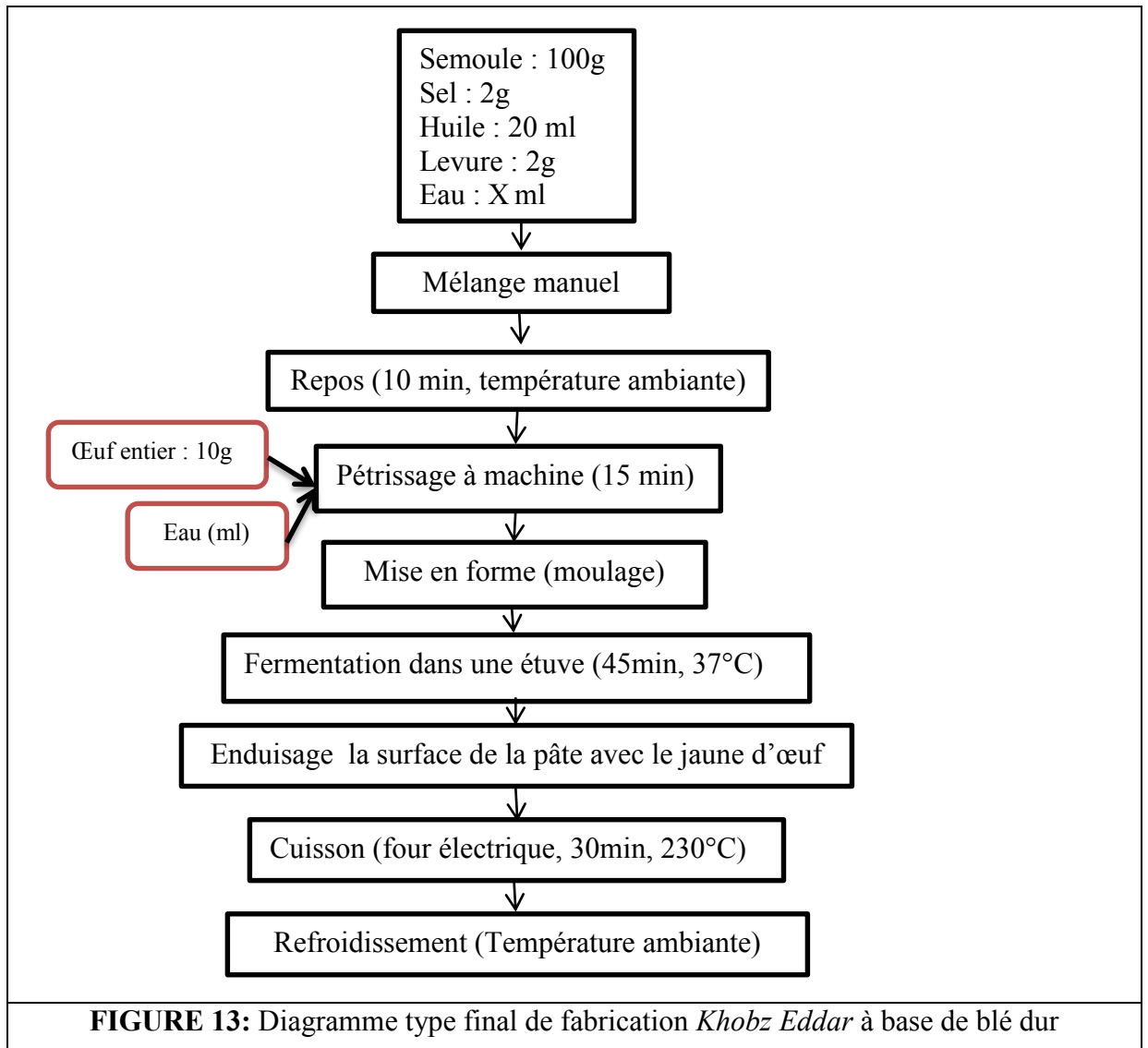
Pour la fabrication d'un pain du *khobz Eddar*, les femmes procèdent de la manière suivante :

Les ingrédients ont été mélangés d'abord à la main .La semoule (500g), le sel (10g) et l'huile (100 ml) ont été mélangés, puis frottés avec les mains pour mélanger le tout. La levure a été ajoutée au reste du mélange avec l'eau tiède. La pâte obtenue, mise au repos pendant 10 min à température ambiante, subi ensuite un pétrissage manuel qui se fait pendant 20 min. Au cours du pétrissage, l'œuf entier battue (50g) et l'eau ont été rajouté progressivement jusqu'à ce que la pâte devient souple et un peu collante. La pâte a été ensuite façonnée, moulée et dorés avec le jaune d'œuf avant d'être placée pendant 45min à température ambiante. La cuisson a lieu à 230°C pendant 30 min dans un four à gaz .À la sortie du four, *khobz Eddar* a été démoulé et laissé à la température ambiante pour son refroidissement (Figure 12).



Pour travailler dans les mêmes conditions (température, durée et force de pétrissage), on a été utilisé le mode pétrissage de la machine à pain avec une durée de 15 min et la fermentation a été effectuée dans une étuve dont la température a été réglée à 37°C.

Donc le digramme suivi dans notre étude pour la préparation du pain *khobz Eddar* à base de la semoule de blé dur est le suivant (Figure 13):



2. MATIERE PREMIERE

2.1. MATIERE PREMIERE POUR LA PREPARATION DU *KHOBZ EDDAR*

Les ingrédients utilisés dans ce travail pour la préparation du pain *khobz Eddar* sont les suivants : semoule, farine, eau, huile, levure, sel et œuf.

La semoule du blé dur a été utilisée pour la fabrication du pain témoin, les semoules du riz, de la féverole et du maïs ont été utilisées pour la fabrication du Pain Sans Gluten (PSG) et les farines du riz et du maïs ont été utilisées pour la préparation d'améliorant naturelle Farine Prégélatinisé (FP) (Tang zhong).

khobz Eddar a été préparé au laboratoire à partir des ingrédients principaux provenant du commerce Algérienne (Figure 14).



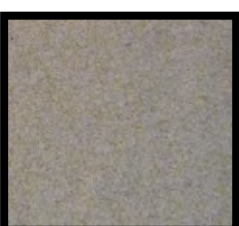
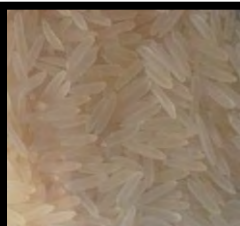
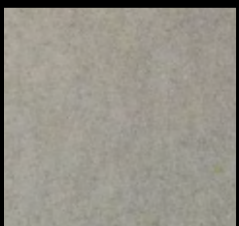
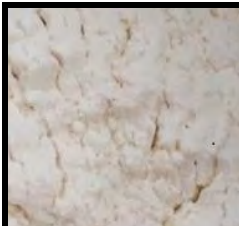
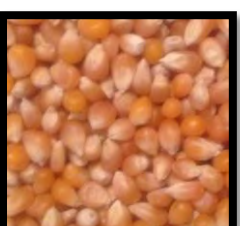
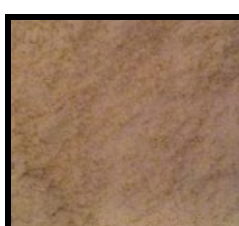
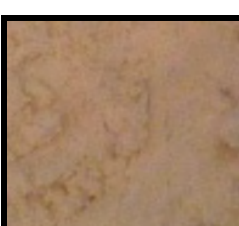
		Fabrication du <i>khobz Eddar</i>	Fabrication du farine prégélatinisé (FP)
	Grain	Semoule [200,500] µm	Farine <200µm
Blé			
Fèverole			
Riz			
Maïs			

FIGURE 14: Semoules et farines utilisées dans la préparation de *khobz Eddar* et Farine Prégélatinisé (FP)

Selon ARAKI *et al* (2009), il ya une corrélation négative significative entre le Volume Spécifique (*V_{sp}*) et la teneur en amidon endommagé. Une faible teneur en amidon endommagé augmente le *V_{sp}* du pain. Le taux d'endommagement a une grande influence sur la capacité d'absorption de la farine et l'accessibilité de l'amidon à l'alpha-amylase. Un grain d'amidon endommagé a en effet perdu son intégrité et devient beaucoup plus facilement accessible aux enzymes suite à la pénétration d'eau dans celui-ci. L'adsorption en eau d'un grain endommagé est de 3 à 5 fois supérieur à celle d'un grain intact (MASSAUX *et al.*,

2006). Donc pour éviter l'endommagement de l'amidon, les grains de riz, de la fève et du maïs ont été subis une seul broyage.

2.1.1. Semoule du blé dur (témoin)

La semoule de blé dur (*Triticum durum*) Extra de qualité « supérieure » conditionnée dans un sachet de 10 Kg a été utilisée comme témoin pour la fabrication du pain *Khobz Eddar*. Elle a été fabriquée par le groupe BENHAMADI.

2.1.2. Semoules exemptes en gluten

Après l'élimination manuelle des corps étrangers et des grains endommagés, les grains de riz, de la fève et du maïs ont été moulus et réduits pour faire passer au tamis de 500µm puis au tamis de 200µm. La fraction retenue sur le tamis de 200 µm (semoule de riz, de la fève et du maïs) a été utilisée pour la fabrication du *khobz Eddar* exemptes en gluten (Tableau 13).

a) Semoule du riz

La semoule du riz (*Oryza sativa*) est obtenue simplement en broyant des grains de riz pour faire passer au tamis de 500µm puis au tamis de 200µm. Le riz utilisé est un riz à grain long, de couleur blanche provenait de la variété Basmati d'origine indienne. Il a été conditionné dans des sachets de 1 Kg.

b) Semoule du maïs

Le maïs a été acheté dans le commerce sous forme des grains provient de la société Alicampo (Argentine). Il a été conditionné dans des sachets de 20 Kg. La Semoule de maïs utilisée dans cette étude a été obtenue après le broyage des grains de maïs.

c) Semoule de fève

La semoule de fève (*Vicia faba minor*) a été obtenue à partir des grains décortiqués d'origine égyptienne (El amire), récoltée en 2013.

d) Eau d'hydratation

Eau distillée utilisée pour la panification et qui a un pH de $5,68 \pm 0,16$ est obtenue à partir du distillateur SCOTSMAN.

e) Levure boulangère

La levure (*Saccharomyces cerevisiae*) de la marque Saf -instant a été achetée dans le commerce, conditionnée en paquet de 500 g et fournie par "S.I.Lesaffre France".

f) Sel

Le sel de cuisine iodé de la marque Chamsi, fournie par l'entreprise Nationale Algérienne Enasel (Biskra) a été acheté dans le commerce. Il est conditionné dans un sachet en plastique de 1Kg.

g) Huile

L'huile végétale de soja et de tournesol de la marque Elio, conditionnée dans une bouteille en plastique de 2 L est la matière grasse utilisée au cours de cette étude. Elle est fournie par Cevital Algerie.

h) Œufs, grain de sésame et de la nigelle

Ils ont été achetés dans le commerce.

2.2. MATIERE PREMIERE POUR LA PREPARATION DU FARINE PREGELATINISE (TANG ZHONG)

La fraction passée par l'ouverture du tamis 200 μm (farine du riz et du maïs), après le broyage des grains, a été utilisé pour la préparation d'améliorant (FP).

2.2.1. Farine de riz

La farine obtenue après le broyage des grains de riz ($< 200\mu\text{m}$) provenait de la variété Basmati a été utilisée pour la fabrication d'améliorant naturel (Tang zhong) du riz.

2.2.2. Farine de maïs

La farine obtenue après le broyage des grains de maïs ($< 200\mu\text{m}$) provient de la société Alicampo a été utilisée pour la fabrication d'améliorant naturel (Tang zhong) du maïs.

3. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES MATIERES PREMIERES

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au sein du laboratoire de l'INATAA sauf le dosage des protéines ont été effectuées au niveau du labo central du GROUPE SMIDE de Constantine.

3.1. COMPOSITION GLOBALE DES MATIERES PREMIERES

3.1.1. Teneur en eau

a) Teneur en eau des semoules et des farines

Il est essentiel de connaître la teneur en eau, appelée aussi humidité, pour plusieurs raisons. Connaître la teneur en eau permet de calculer facilement la teneur en matière sèche (% de matière sèche = $100 - \% \text{ teneur en eau}$). Or, la teneur de certains composants de la semoule est exprimée uniquement sur matière sèche. C'est le cas des protéines et des matières minérales. Connaître la teneur en eau permet de vérifier la conformité à la réglementation et de réaliser certaines analyses pour lesquelles la méthode impose de travailler des pâtes à teneur en eau constante.

***Principe de la méthode de dosage**

Il existe plusieurs méthodes. La méthode officielle, référence NF V 03-707 (juin 1989), est la plus utilisée. Elle est validée par l'AFNOR (Association française de

normalisation). La présente norme ne s'applique pas au maïs, la méthode pour le dosage de l'eau dans le maïs, c'est NF V03-708 (AFNOR, 1991).

Son principe consiste à dessécher l'échantillon (+ 100 °C). Il suffit de sécher, dans une étuve (Memmert, Allemagne) adaptée et réglée entre 130 et 133°C, environ 5±0,001g de l'échantillon (semoule de blé dur, de riz et de féverole et farine de riz) et 3 ±0,001 g pour la semoule et la farine du maïs. L'échantillon sec, une fois revenu à température ambiante, est de nouveau pesé (balance RADWAG). La différence observée représente la quantité d'eau initialement présente dans l'échantillon.

Pour calculer la teneur en eau, on applique :

$$H = (P_0 - P_1 / P_0 . 100)$$

- P₀ : la prise d'essai en g.
- P₁ : poids du résidu sec en g.

b) Teneur en eau des œufs

L'analyse a été effectuée sur 6 œufs entiers prélevés au hasard (HIDALGO *et al.*, 2008). La méthode officielle AOAC 925.30 (AOAC, 1990) a été utilisée pour déterminer la teneur en humidité des échantillons d'œufs. Une boîte de Pétri a été préalablement séchée à 98-100 ° C et on le refroidit dans un dessiccateur. On ajoute 5 g d'œuf entier (blanc et jaune d'œuf) dans la boîte de pétri et le poids final a été enregistré. Enfin l'échantillon a été séché à 98-100 °C dans une étuve (Memmert, Allemagne). Tous les échantillons ont été transférés au dessiccateur et pesés après qu'ils aient refroidi.

$$H = (P_0 - P_1 / P_0 . 100)$$

- P₀ : la prise d'essai en g.
- P₁ : poids du résidu sec en g.

c) Teneur en eau de l'huile

Peser dans une boîte de pétrie préalablement séchée et taré environ 5 g d'huile agité, puis on le place à l'étuve à 105±1°C. Au bout d'une 1h à 105°C, on le sort de l'étuve, on le passe au dessiccateur pour les refroidir et on le pèse. Après cela, on remet la boîte de pétrie à l'étuve à 105°C. Après 1 h, on les sort à nouveau, les refroidit et les pèse. L'opération est répétée jusqu'à ce que la masse entre deux pesées successives ne dépasse pas 0,01g (ISI, 1984)

$$H = (P_0 - P_1 / P_0 . 100)$$

- P₀ : la prise d'essai en g.
- P₁ : poids du résidu sec en g.

3.1.2. Teneur en cendres

Les cendres s'obtiennent par incinération de la semoule et de la farine dans les conditions données et pesée du résidu. Le principe de la méthode repose sur la calcination des échantillons dans des nacelles en platine.

La teneur en matière minérale existante dans la semoule (blé dur, riz et maïs) et la farine (riz et maïs) est déterminée selon la norme NF V 03-720 (décembre 1981), par incinération d'une prise d'essai de $2 \text{ à } 6 \pm 0,01\text{g}$ à $900 \pm 25 \text{ °C}$ (AFNOR, 1991).

La teneur en matière minérale existante dans la semoule de légumes secs (féverole) est déterminée selon la norme NF V03-760, par incinération d'une prise d'essai de $2 \text{ à } 6 \pm 0,01\text{g}$ à $550 \pm 10 \text{ °C}$ (AFNOR, 1991).

L'incinération est réalisée dans un four à moufle (Linn High Therm). La minéralisation est poursuivie jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre. Il ne reste dans la nacelle que les cendres, représentatives de la teneur en matières minérales. Il suffit de les peser pour obtenir la masse des cendres provenant d'essai brut. La peser alors rapidement à $0,0001\text{g}$ près.

Le taux de cendres est toujours exprimé sur matière sèche. Il suffit donc de rapporter le résultat obtenu à la matière sèche. D'où la nécessité de connaître au préalable la teneur en eau de l'échantillon analysée.

Le taux de cendres totales (C) est exprimé en g pour 100 g de produit humide :

$$C = P_1 / P_0 \cdot 100$$

- P_0 : Masse de la prise d'essai avant incinération
- P_1 : Masse de la prise d'essai après incinération

3.1.3. Teneur en protéines

Il existe plusieurs méthodes. Quelles que soient les méthodes, on ne dose pas directement les protéines. On dose une teneur en azote, puis on convertit le résultat pour obtenir la teneur en protéines. Le coefficient de conversion de l'azote en protéine est de 5,70 pour la semoule de blé dur ainsi que pour le riz et les légumes secs et de la farine du riz et de 6,25 pour la semoule et la farine de maïs (PASCHAL et FRENCH, 1956).

Une méthode rapide couramment utilisée en meunerie est une méthode d'analyse par spectroscopie infrarouge. On introduit une petite quantité de farine dans un appareil muni d'un faisceau infrarouge. Celui-ci visualise la teneur en azote et la convertit instantanément en teneur en protéines.

Par ailleurs, il existe deux méthodes normalisées :

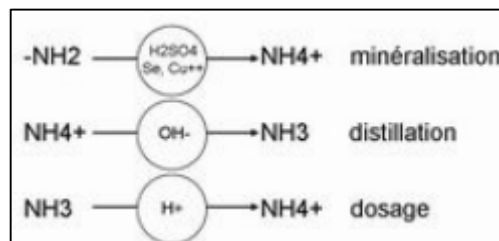
* **Méthode Dumas (Iso 1871)** repose sur la mesure d'un volume d'azote dégagé après avoir transformé l'azote organique des protéines en azote gazeux.

* **Méthode de Kjeldahl**

La méthode utilisée dans ce travail, est une méthode chimique du dosage de l'azote (NF V 03-050 (septembre 1970)), son principe consiste à minéraliser de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation et titrage de l'ammoniac libéré.

L'azote Kjeldahl de l'échantillon est d'abord transformé en ammoniacque par digestion acide dans un batch de minéralisation. L'addition d'une base forte permet de libérer l'ammoniac qui est alors entraîné par de la vapeur d'eau puis ensuite piégé dans une solution d'acide borique. L'ammoniacque est alors dosée par une solution d'acide sulfurique de titre connu. Le point d'équivalence est repéré par le changement de coloration d'un indicateur.

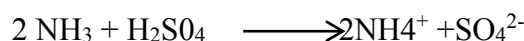
La prise d'essai, variable en quantité selon la teneur présumée en azote dosable par la méthode de Kjeldahl, doit être représentative de l'échantillon et doit renfermer entre 0,005 et 0,2 g d'azote et de préférence une quantité supérieure à 0,02 g (AFNOR, 1991).



a. Minéralisation

La minéralisation est effectuée à l'aide d'un excès d'acide sulfurique (96 %, $d = 1,84$, 12ml) concentré et chaud pour une prise d'essai renfermant au plus 1g de matière sèche.

En présence d'acide sulfurique concentré et chaud, le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote des composés organiques se retrouvent sous forme de CO_2 , H_2O et NH_3 . L'acide sulfurique étant en excès, on a :



L'utilisation d'un mélange de catalyseurs permet d'avoir une minéralisation plus rapide. Ils permettent d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique à $360\text{-}380^\circ \text{C}$.

b. Distillation

Les ions ammonium du minéralisât se trouvant dans un excès d'acide sulfurique, on ne peut les doser directement. Dans un premier temps on va donc déplacer les ions ammonium du minéralisât sous forme de NH_3 (ammoniac), puis il faudra récupérer l'ammoniac seul pour

pouvoir le doser à l'aide d'une solution étalonnée d'acide fort. Pour isoler l'ammoniac on procède par distillation.

Pour transformer les ions ammonium du minéralisât en ammoniac (NH_4^+ en NH_3), on doit alcaliniser le minéralisât par un large excès de base forte : la lessive de soude.

On a alors :

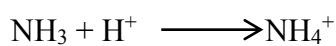


On chauffe le minéralisât alcalinisé, le NH_3 se dégage sous forme de vapeurs que l'on capte, que l'on condense et que l'on recueille pour le dosage.

Le distillat est recueilli dans une solution d'acide borique (H_3BO_3) de 10 à 25 ml à 4%. L'acide borique est un acide faible qui ne réagit pas avec l'ammoniac, il sert simplement de piège à ammoniac.

c. Titration

L'ammoniac ainsi piégé est neutralisé au fur et à mesure de son arrivée par une solution étalonnée d'acide H_2SO_4 (0,01 N) en présence d'un indicateur coloré : l'indicateur de TASHIRO ou indicateur RB (mélange de rouge de méthyle et de bleu de méthylène) amené au préalable à sa teinte sensible (gris sale). On a :



La teneur en azote total (A) est exprimée en grammes pour 100 g de matière humide :

$$\boxed{A = [N \cdot 14 \cdot D \cdot V \cdot 100 / P_0 \cdot 1000]}$$

Avec :

N : Normalité de l'acide sulfurique titrant ;

14 : Masse d'un atome gramme d'azote ;

D : Coefficient de dilution de l'échantillon ;

V : Volume de l'acide sulfurique utilisé pour la titration (ml) ;

P₀ : Masse de la prise d'essai (g) ;

Donc la teneur en protéine totale:

$$\boxed{\% P = \% A \cdot \text{Facteur de Conversion}}$$

%N : Pourcentage d'azote

%P : pourcentage de Protéine totale.

3.1.4. Teneur matières grasses totales

La teneur en matières grasses totales de nos farines et semoules est déterminée selon la FAO (1997), avec l'appareil SOXHLET.

***Principe**

Le principe de cette méthode consiste à réaliser une extraction de la matière grasse par un solvant organique en utilisant l'hexane comme solvant dans l'unité d'extraction en deux phases. Premièrement, l'échantillon est immergé dans le solvant en ébullition et la plupart des matières solubles sont extraites. En deuxième étape, cet échantillon placé au-dessus du solvant est rincé par ses vapeurs. Après l'extraction, on procède à l'évaporation du solvant puis, sa récupération en balayant le système avec de l'air provenant de module thermostat.

***Mode opératoire**

Après le remplissage de module thermostat en l'huile appropriée, et le réglage de la température correspondante à l'hexane (140°C), une prise d'essai de 3g de farine est placée dans des cartouches tarées, ces dernières sont mises dans des nacelles métalliques contenant le solvant (50 ml) et qui sont préalablement pesées vide, l'ensemble des cartouches et des nacelles sont installées dans l'unité d'extraction. Laisser l'opération d'extraction se dérouler pendant 1 heure du temps, puis, lancer l'étape d'évaporation pendant 30 min. Après rinçage des farines, et lorsque presque la totalité du solvant est récupérée, libérer les nacelles contenant le résidu lipidique et encore une fois faire leurs pesés.

***Expression des résultats**

La teneur en matières grasses totales (MG) est exprimée en % de la masse d'échantillon initiale :

$$\text{MG} = \left(\frac{P_1}{P_0} \cdot 100 \right)$$

Avec :

P_0 : Masse de la prise d'essai (g) ;

P_1 : Masse du résidu lipidique après extraction (g).

3.1.5. Teneur en glucide totaux

La teneur en glucides totaux (GT) exprimée en gramme pour 100 g de Matière Sèche (MS) est déterminée par soustraction de la somme des teneurs de précédents composants majeurs à partir de 100g de matière sèche :

$$\text{GT} = 100 - (\text{C} + \text{P} + \text{MG})$$

Ou C : Taux de cendres totales (% de MS) ;

P : Teneur en protéine total (% de MS) ;

MG : Teneur en matière grasse totale (%de MS).

3.2. GRANULOMETRIE SUR BASE DU POIDS PAR TAMISAGE

La granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules d'une farine et de la semoule. Elle permet d'apprécier le comportement de la farine et de la semoule lors de l'hydratation. En boulangerie, la quantité d'eau absorbée lors de la formation de la pâte, ainsi que la vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules (FEILLET, 2000).

L'examen granulométrique d'une semoule ou d'une farine consiste à déterminer la grosseur de ses particules et leurs proportions pondérales respectives.

Pour la caractérisation granulométrique des produits de mouture, les semoules (blé dur, riz, féverole, maïs) et les farines (riz, maïs) utilisées ont été initialement tamisées à l'aide d'une tamiseuse automatique (Retsch AS200). L'opération consiste à mettre 100g d'échantillon sur des tamis placés en ordre décroissant d'ouverture des mailles avec trois répétitions de mesure et pendant 5 min.

Les échantillons de la semoule ont été passés sur une colonne de 4 tamis normalisés de 500, 450, 380 et 200 μm .

Les échantillons de farine sont passés au travers de 2 tamis dont les maillages respectifs ont comme dimensions nominales 200 et 125 μm .

La distribution granulométrique des particules des semoules (DG) est exprimée en % de produit brut :

$$\text{DG} = P_1 / P_0 \cdot 100$$

- P_0 : masse de la prise d'essai (g).
- P_1 : masse de la fraction retenue sur chacun des tamis (g)

3.3. ALVEOGRAPHIE

L'alvéographe de Chopin est une technique assez rapide visant à estimer la valeur boulangère ou force de la pâte. Il est devenu largement acceptée internationalement comme un indicateur de la fermeté du gluten de blé dur (D'EGIDIO *et al.*, 1990).

Principe

Lorsqu'on fait du pain, on observe une levée, sous l'action des gaz issus de la fermentation.

Cette levée est fonction de la poussée gazeuse, mais aussi de la qualité du réseau glutineux, notamment de sa capacité à se déformer et à retenir le CO_2 formé.

L'alvéographe Chopin étudie le comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'une farine ou semoule et d'eau salée lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant.

Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate.

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme.

L'alvéogramme est caractérisé par quatre paramètres principaux : P, G ou L, W et le rapport P/L (Figure 15).

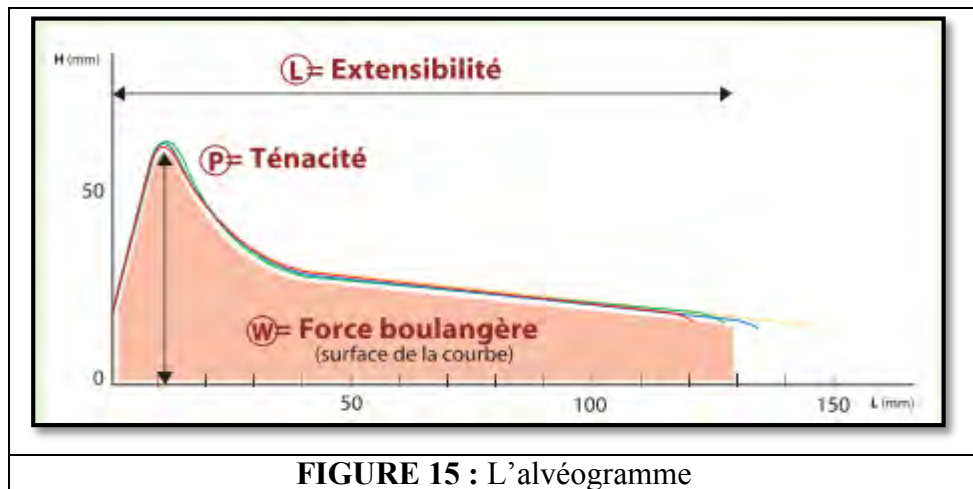


FIGURE 15 : L'alvéogramme

- P, la hauteur correspond à la pression maximale, exprimée en millimètres, enregistrée avant que le disque ne commence à gonfler. P est en relation avec la ténacité de la pâte.
- L la longueur, mesurée en millimètres, correspond au gonflement t maximum de la bulle et est en rapport avec l'extensibilité de la pâte. Le gonflement se traduit par le calcul à partir de $L : G = 2.22 \times \sqrt{L}$.
- Le rapport P/L donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte.
- W, la surface de l'alvéogramme représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine (force boulangère). W s'exprime en 10^{-4} Joule rapporté à un gramme de pâte (Figure 16 et Tableau 26).

$$W \text{ (joules)} = 6,54 \times S$$

Où S c'est la surface de la courbe.

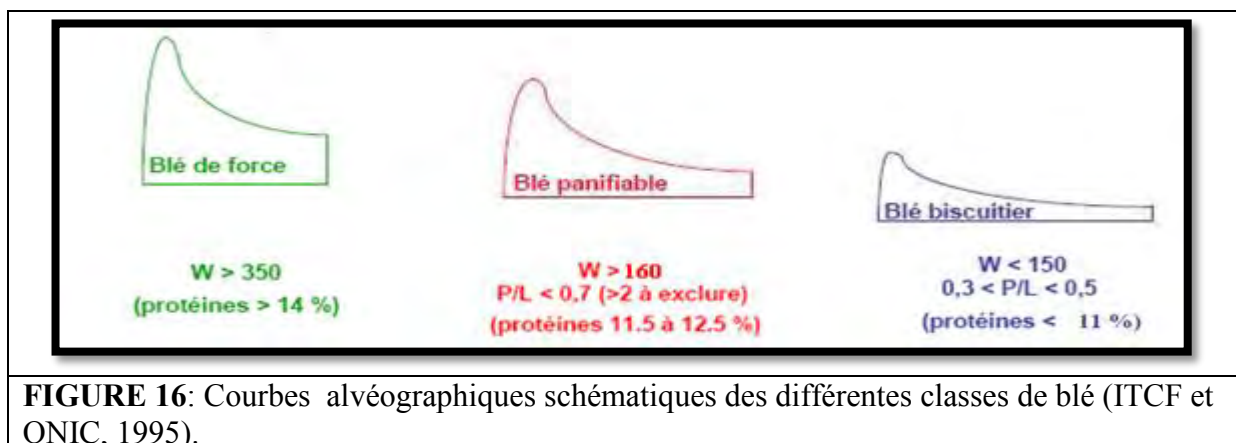


FIGURE 16: Courbes alvéographiques schématiques des différentes classes de blé (ITCF et ONIC, 1995).

TABLEAU 26 : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère (ITCF et ONIC, 1995)

Force W	Rapport P/L	Utilisations
<150	0,3-0,5	biscuiterie
160 à 250	0,5-0,7	panification
250-300	0,5-0,9	croissant-brioche
350	0,7-1	pain de mie ou hamburger

Mode opératoire

Evaluation alvéographique a été réalisée sur la semoule selon la méthode standard de Chopin, mais la pâte a été mélangée pendant 4 min et après un repos de 18 minutes, mélangé à nouveau pendant 4 min (D'EGIDIO *et al.*, 1990). Il faut impérativement travailler sur une semoule dont on connaît la teneur en eau.

-Peser 250 grammes de semoules de blé dur

-Ajouter une quantité d'eau salée dont la concentration est de 2,5 g par litre, selon le mode de calcul suivant:

$$\text{Volume d'eau salée} = 187,52 - (\text{H}_2\text{O}_{\text{sem}} \times 4,375)$$

Ou $\text{H}_2\text{O}_{\text{sem}}$ = humidité de la semoule

Cette quantité d'eau correspond à une hydratation de 75 % sur matière sèche.

L'eau est incorporée à la semoule de blé dur de la façon suivante:

-1 minute de mélange mécanique de l'eau et de la semoule

-1 minute de mélange manuel

-2 minutes supplémentaires de mélange mécanique

On arrête le pétrin (lorsque le chronomètre affiche 4 minutes) et on laisse reposer la pâte dans la cuve du pétrin pendant 18 minutes.

-Après cette période de repos, nous pétrissons de nouveau la pâte pendant 4 minutes.

Ensuite, suivre la procédure alvéographique standard, c'est à dire:

- Extraction des pâtons puis : On prélève par extrusion 5 morceaux de pâte.
- Laminage des pâtons : ces 5 morceaux de pâte sont laminés, de façon à obtenir des abaisses identiques.
- Découpe des pâtons : on découpe les cinq morceaux laminés à l'aide d'un emporte-pièce spécifique. On obtient ainsi 5 pâtons rigoureusement identiques.
- Repos des pâtons pendant 20 minutes dans la chambre de repos.
- Gonflement des pâtons : c'est l'étape la plus spectaculaire .Chaque pâton est déposé sur la platine de l'alvéographe et un système pneumatique insuffle de l'air en dessous. Le pâton gonfle et forme une bulle. Pendant le gonflement, l'alvéographe enregistre les variations de pression s'exerçant sur les parois internes de cette bulle, jusqu'à éclatement. On obtient ainsi 5 courbes (une par pâton), dont on fait une moyenne pour obtenir une seule courbe.

3.4. PROPRIETES D'HYDRATATION DES FARINES DE MAIS ET DE RIZ

GELATINISE

Indice d'absorption d'eau (WAI), l'indice de solubilité dans l'eau (WSI) et le pouvoir de gonflement (SP) de différentes farines (maïs, riz) ont été déterminés.

La capacité de rétention d'eau des farines du riz et du maïs a été déterminée suivant la méthode de MCCORMOCK *et al.*, (1991) telle que modifiée par TANG *et al.*, (2002).

Parallèlement à la détermination des capacités de rétention d'eau des farines gélatinisées, l'aptitude de ces derniers à se solubiliser dans le milieu aqueux a été évaluée suivant la méthode décrite par LI et YEH (2001). 0,25 g de la farine a été mélangé avec 5 ml d'une solution AgNO₃ (0,1%) dans des tubes de centrifugation en plastique tarés et hermétiquement scellés (MCCORMICK *et al.*, 1991). Les suspensions obtenues ont été mélangées avec un mélangeur Vortex pendant 10 secondes et ont été placées dans un bain-marie agité, maintenu à 70°C. Après 10 minutes de chauffage à 70°C, les tubes ont été transférés dans un bain d'eau bouillant dans lequel ils ont été maintenus pendant 10 minutes, puis refroidis par immersion dans de l'eau froide (20°C) pendant 5min. Les suspensions de farine gélatinisée obtenues ont été ensuite centrifugées à environ 1700 g pendant 4 minutes à l'aide d'une centrifugeuse SIGMA 3-30K

Les surnageant obtenus après centrifugation ont été récupérés, et séchés dans une étuve à 105°C pendant 24 heures (TANG *et al.*, 2002) en vue de la détermination de la solubilité des farines pendant leur gélatinisation (Figure 17). La pesée des culots de centrifugation a permis de déterminer la capacité de rétention d'eau des farine gélatinisées par la méthode de calcul de MCCORMICK *et al.*, 1991 et LI et YEH (2001). Il a été calculé

comme le poids des sédiments (culot) divisé par poids sec d'échantillon moins le poids de résidu (surnageant séché). Indice d'absorption d'eau (WAI) est calculé selon la méthode d'ANDERSON *et al.*,(1969).

$$\begin{aligned} \text{WSI} &= [W_1/0,25] \times 100 \% \\ \text{SP} &= W_s / [0,25(100\% - \text{WSI})] \text{ (g/g)} \\ \text{WAI} &= W_s / 0,25 \end{aligned}$$

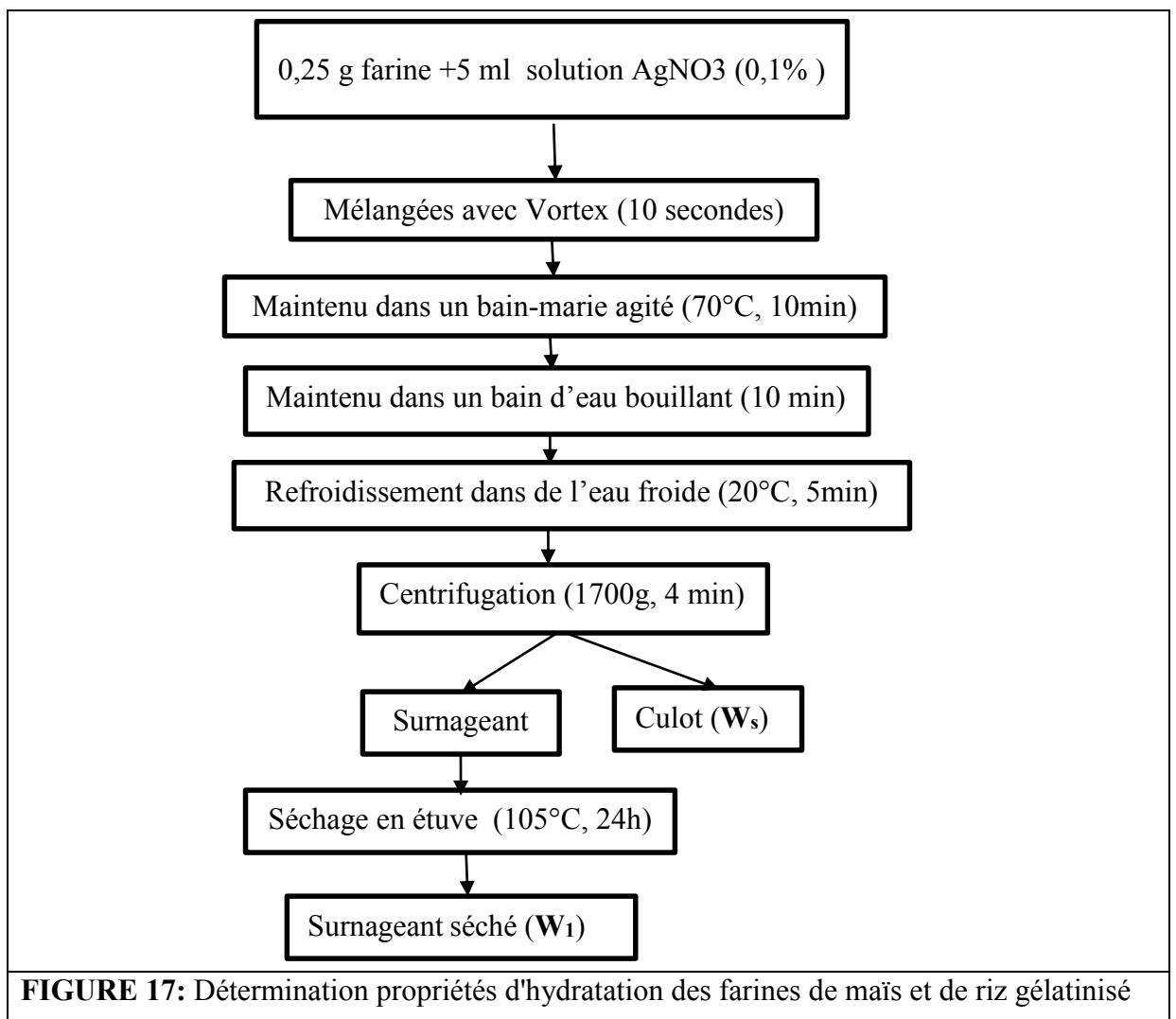
W_1 (g): poids de surnageant séché (résidu) (g) ;

W_s (g) : poids de sédiment ;

WSI (g/100g): l'indice de solubilité dans l'eau;

SP (g/g): le pouvoir de gonflement.

WAI (g/g): Indice d'absorption d'eau.



4. FORMULATION SANS GLUTEN

Il est intéressant d'associer des céréales aux légumes secs afin de les compléter mutuellement en leur acide aminé déficitaire. Les formulations sans gluten étudiées dans ce travail sont basées sur un mélange de céréales et de légumineuses dans un rapport de 2:1 (g / g), visant à offrir un meilleur équilibre nutritionnel en acides aminés (MICARD *et al.*, 2010, BENATALLAH *et al.*, 2012). Cette formule a été développée par l'équipe TEPA. Deux formulations ont été préparées : pain à base de la Formule Maïs / Féverole (FMF) et pain à base de la Formule Riz / Féverole (FRF). L'adjonction de féverole à la formule sans gluten résultante en vue d'une panification (GHERAIRIA, 2011).

5. PREPARATION DE FARINE PREGELATINISE

Deux types de FP ont été préparés avec de la farine de maïs ou de la farine de riz. FP maïs a été ajoutée à la pâte préparée par la semoule de maïs/fèverole et FP riz a été ajouté à la pâte préparée par la semoule de riz/fèverole (Figure 18)

La FP a été fabriqué par l'ajout de l'eau à la farine exempte du gluten avec un rapport de 5/1 (v/p) dans une casserole en aluminium. Le mélange a été ensuite chauffé dans une plaque chauffante électrique (Magiflame ,1000 w), on l'agite avec une spatule, jusqu'à ce qu'il atteigne 65 ° C (149 ° F), la température du mélange a été mesurée à l'aide d'un thermomètre à thermocouple (Dostmann electronic). Le mélange s'épaissit et devenir gélatineux. Cette opération a été duré de 6-7 min pour FP maïs et de 8-9 min pour FP riz .FP a été versé dans un bol, recouvert à contact du film alimentaire (pour éviter la formation de la croûte) et laissé à refroidir 1 h jusqu'à ce qu'il soit à la température ambiante où il sera prêt à l'emploi (Figure18)

Remarque

On a été ajouté 2g de farine de maïs ou de riz et 10 ml d'eau à la quantité nécessaire de la recette pour éviter la perte d'eau et du FP au cours de la cuisson (évaporation d'eau et la petite quantité de FP reste à la casserole).

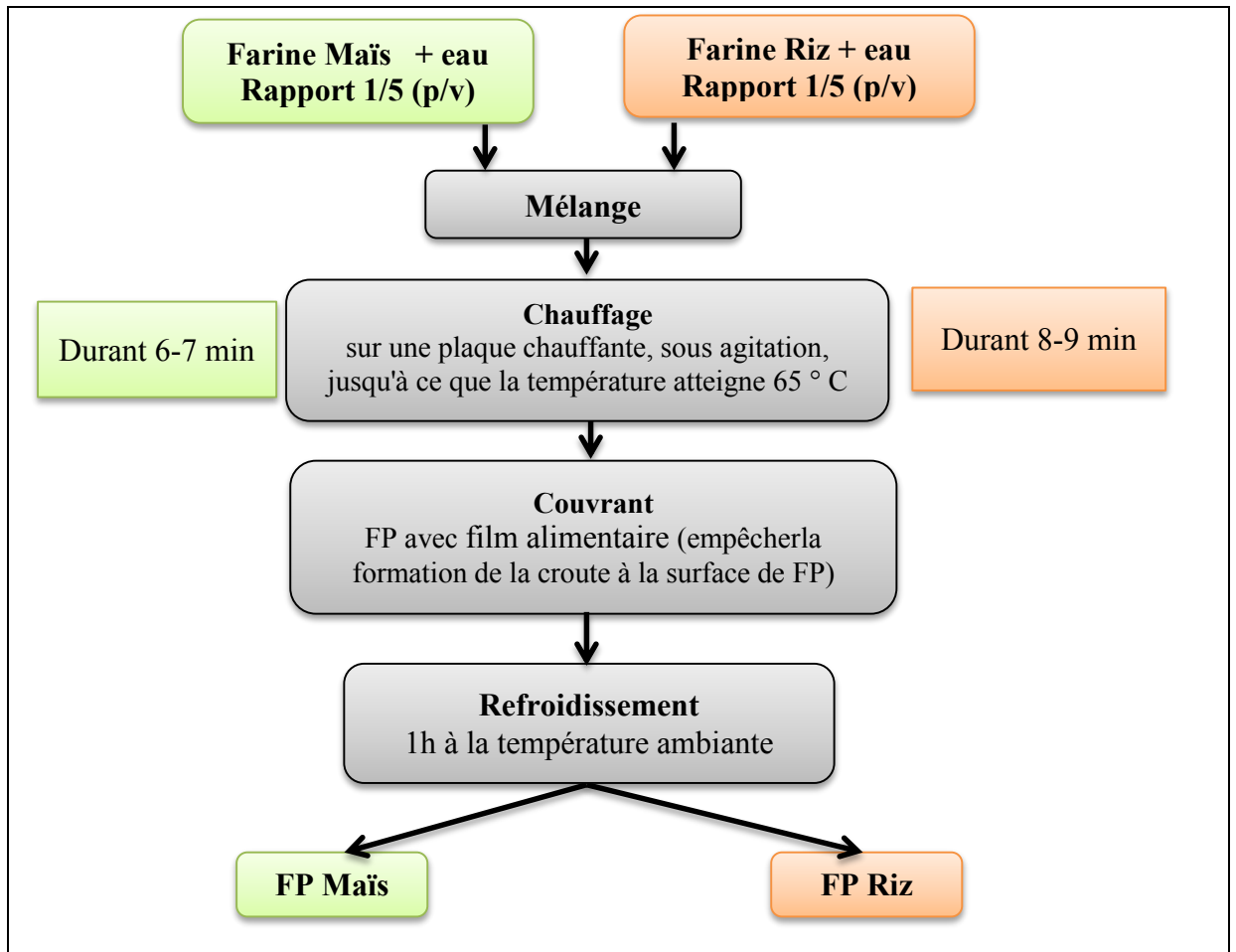


FIGURE 18: Les étapes de formulation de deux améliorants de type farine "prégélatinisé " (FP) sur la base des mêmes processus mais différent par leur recette; FP Maïs: Farine de Maïs Prégélatinisé ; FP riz : Farine de Riz Prégélatinisé.

6. OPTIMISATION DU VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN SANS GLUTEN PAR LA METHODE DES SURFACES DE REPONSE

La méthode des surfaces de réponse (MSR) est un ensemble de technique mathématique qui se base sur la conception expérimentale pour déterminer la portée des variables d'entrées indépendantes. Cette méthode permet, grâce à des modèles mathématiques empiriques, de déterminer une relation d'approximation entre les réponses de sortie et les variables d'entrée pour optimiser les paramètres du procédé afin d'atteindre des réponses souhaitables.

Les facteurs choisis, dans le cadre de cette étude sont: la teneur en eau et le niveau d'incorporation de farine prégelatinisé dans le but d'optimiser le V_{sp} du PSG.

La méthode des surfaces de réponses passe par trois étapes : la construction du plan expérimental, la modélisation de la réponse et les représentations graphiques.

6.1. PLAN D'EXPERIENCE

Cette technique permet de créer un modèle statistiquement significatif d'un phénomène qui intègre les interactions entre les variables tout en optimisant le nombre d'essais.

Le plan composite central (CCD) de 2 facteurs a été utilisé pour étudier les effets de l'eau (X_1 pour FMF, X'_1 pour FRF) et le niveau d'incorporation de FP [X_2 pour la farine de maïs, X'_2 pour la farine de riz] sur le V_{sp} de pains sans gluten (Y pour FMF, Y' pour FRF). Chaque facteur a été étudié à cinq niveaux différents ($-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$). Dans un plan central composite à 2 facteurs, on donne aux variables les valeurs codées suivantes : $(+1, +1), (+1, -1), (-1, +1)$ et $(-1, -1)$ pour les points factoriels ; $(+1,414, 0), (-1,414, 0), (0, +1,414)$ et $(0, -1,414)$ pour les points radicaux ; $(0,0)$ pour le point au centre (DUCAUZE, 2014). Le point central a été répété 5 fois pour appuyer ce plan d'expériences, ce qui donne un totale de $2^2+2^2+5=13$ essais (Tableau 27). $-1,414$ et $+1,414$ représente les valeurs codées minimale et maximale respectivement des facteurs (eau, FP).

TABLEAU 27: Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables

Essais	Matrice	
	X_1 ou X'_1 (Hydratation)	X_2 ou X'_2 (Farine Prégélatinisé)
1	+1,414	0
2	-1,414	0
3	0	+1,414
4	-1	+1
5	+1	-1
6	+1	+1
7	-1	-1
8	0	-1,414
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

6.2. MODELISATION DE LA REPONSE

La modélisation de la réponse est réalisée à l'aide de techniques de régression qui permettent de relier les réponses « Y, Y' » aux facteurs « X_1, X'_1 » et les facteurs « X_2, X'_2 » selon les relations suivantes :

$$Y = f(X_1, X_2) \text{ pour le PSG maïs/fèverole.}$$

$$Y' = f(X'_1, X'_2) \text{ pour le PSG riz/fèverole.}$$

Où f est la fonction-réponse

Le comportement des surfaces de réponse des deux formulations a été expliqué par le modèle de second ordre selon les équations suivantes :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (\text{PMF})$$

$$Y' = b'_0 + b'_1 X'_1 + b'_2 X'_2 + b'_{11} X'^2_1 + b'_{22} X'^2_2 + b'_{12} X'_1 X'_2 \quad (\text{PRF})$$

PMF : pain de la formule semoule maïs/fèverole

PRF : pain de la formule semoule riz/fèverole

Ce type de modèle permet l'estimation d'une surface de réponse pour étudier les effets linéaires, les effets quadratiques et les effets d'interaction :

- Y et Y' représentent les fonctions de réponse,
- b_0 et b'_0 sont les constantes qui expriment l'effet moyen général
- b_1, b'_1, b_2 et b_2 sont les coefficients des effets linéaires
- b_{11}, b'_{11}, b_{22} et b'_{22} sont les coefficients des effets quadratiques
- b_{12}, b'_{12} sont les coefficients des effets interaction
- X_1, X'_1, X_2 et X'_2 représentent les variables codées indépendantes.

6.3. DETERMINATION DES VARIABLES REELLES

6.3.1. Hydratation

Le taux d'hydratation des pâtes de témoin et des deux formules maïs /fèverole et riz/fèverole ont été déterminé par les essais préliminaires.

On a été suivie le même diagramme type de *khobz Eddar* traditionnel pour le témoin et les formules sans gluten. Le taux d'hydratation minimale a été déterminé sur la base de l'obtention d'une pâte qui tient dans la main et le taux maximal a été fixé selon l'état de la mie du pain après la cuisson (230°C, 30 min).

Selon les essais préliminaires, l'hydratation du pain à base de blé dur (témoins) a été fixée à 55 ml pour 100 g de la semoule de blé dur ce qui donne un meilleur V_{sp} ($3,64 \pm 0,03$ cm³/g) et l'intervalle d'hydratation choisi dans ce travail pour le PSG varie de 51 à 115 ml pour 100 g de la semoule maïs /fèverole et de 45 à 105 ml pour 100 g de la semoule riz/fèverole (Tableau 28). L'eau de la matière première (semoule de blé dur, maïs, riz et fèverole) et l'eau contenue dans l'œuf qui est varié de 76,7 à 77,9 % ne sont pas prises en compte dans l'eau totale ajoutée. La teneur en eau de l'huile est 0%.

TABLEAU 28 : Niveaux codés et réelle du facteur d'eau dans la conception composite central

Variable	Niveau				
	-1,414	-1	0	+1	+1,414
X₁ : Hydratation (ml pour 100g de la semoule maïs/fèverole)	51,00	60,37	83,00	105,62	115,00
X'₁: Hydratation (ml pour 100g de de la semoule riz /fèverole)	45,00	53,78	75,00	96,21	105,00

6.3.2. Détermination des valeurs minimales et maximales du farine prégélatinisé

La limite maximale de FP ajouté a été déterminée en fonction de la quantité d'eau finale de la formule. Dans cette étude, FP maïs a été ajouté dans des quantités allant de 0 à 14,1 g dans 100g de la semoule maïs/fèverole et FP riz allant de 0 à 12,6 g dans 100 g de la semoule riz /fèverole (Tableau 29).

TABLEAU 29 : Niveaux codés et réelle du facteur farine prégélatinisé (FP) dans la conception composite central

Variable	Niveau				
	-1,414	-1	0	+1	+1,414
X₂ : FP maïs (g dans 100 g de la semoule maïs/fèverole)	0,00	2,06	7,05	12,03	14,10
X'₂: FP riz (g dans 100g de la semoule riz /fèverole)	0,00	1,84	6,30	10,75	12,60

Les 13 couples (Hydratations- FP) des deux formules ont été mentionnées dans le Tableau 30.

TABLEAU 30 : Valeurs codées et réelles des couples Hydratations- Farine Prégélatinisé (FP) des deux formules utilisés pour la réalisation du plan d'expérience

			Niveaux réels (g)			
			Formule PMF		Formule PRF	
			Eau (ml)	FP Maïs (g)	Eau (ml)	FP Riz (g)
Essais	Niveaux codés		X ₁	X ₂	X' ₁	X' ₂
	X ₁ ou X' ₁	X ₂ ou X' ₂				
1	+1,414	0	115,00	7,05	105,00	6,30
2	-1,414	0	51,00	7,05	45,00	6,30
3	0	+1,414	83,00	14,10	75,00	12,60
4	-1	+1	60,37	12,03	53,78	10,75
5	+1	-1	105,62	2,06	96,21	1,84
6	+1	+1	105,62	12,03	96,21	10,75
7	-1	-1	60,37	2,06	53,78	1,84
8	0	-1,414	83,00	0,00	75,00	0,00
9	0	0	83,00	7,05	75,00	6,30
10	0	0	83,00	7,05	75,00	6,30
11	0	0	83,00	7,05	75,00	6,30
12	0	0	83,00	7,05	75,00	6,30
13	0	0	83,00	7,05	75,00	6,30

PMF : Pain maïs fèverole, **PRF** : Pain riz fèverole.

Avant l'application du plan d'expérience, des expérimentations en été effectué sur la formule maïs /fèveole et les résultats ont été généralisé sur la formule riz /fèveole:

a) Expérimentation 1

Des informations préliminaires collectées, il semble que la température de conservation de la FP ajouté à la pâte serait en relation avec le *Vsp* de PSG.

D'après YU-WEN (2004), la farine gélatinisée améliorée la qualité du pain tel que le *Vsp* lorsqu'elle conserve 24 h au frigo.

Des essais préliminaires ont été effectués, la FP a été ajoutée à la pâte après 1 h de leur préparation et après 24 h de leur conservation dans le réfrigérateur à 4°C, mais il devra être mis à température ambiante avant leur utilisation. C'est pour confirmer si la température de conservation du FP influe sur le *Vsp* du *khobz Eddar* sans gluten.

La semoule de maïs a été substituée par la FP maïs sur une base de poids sec (taux de substitution : 0, 5, 10, 15 et 23 g) avec une teneur en eau finale de la pâte fixe de 115 ml (Figure 18). Les volumes spécifiques de pain *khobz Eddar* sans gluten ont été calculé.

b) Expérimentation 2

Selon HSU *et al.*, (2000), les interactions entre l'huile et l'amidon peuvent réduire la viscoélasticité de la farine gélatinisée ou l'amylose est susceptible de se complexer avec des lipides. Donc on a été ajouté l'huile avec les ingrédients sèche avant l'ajout de FP et 10 min après le début de pétrissage qui dure en tout 15 min (Figure 19).

Remarque : La température de conservation de la FP a été choisie selon les résultats d'expérimentation 1 (volume spécifique).

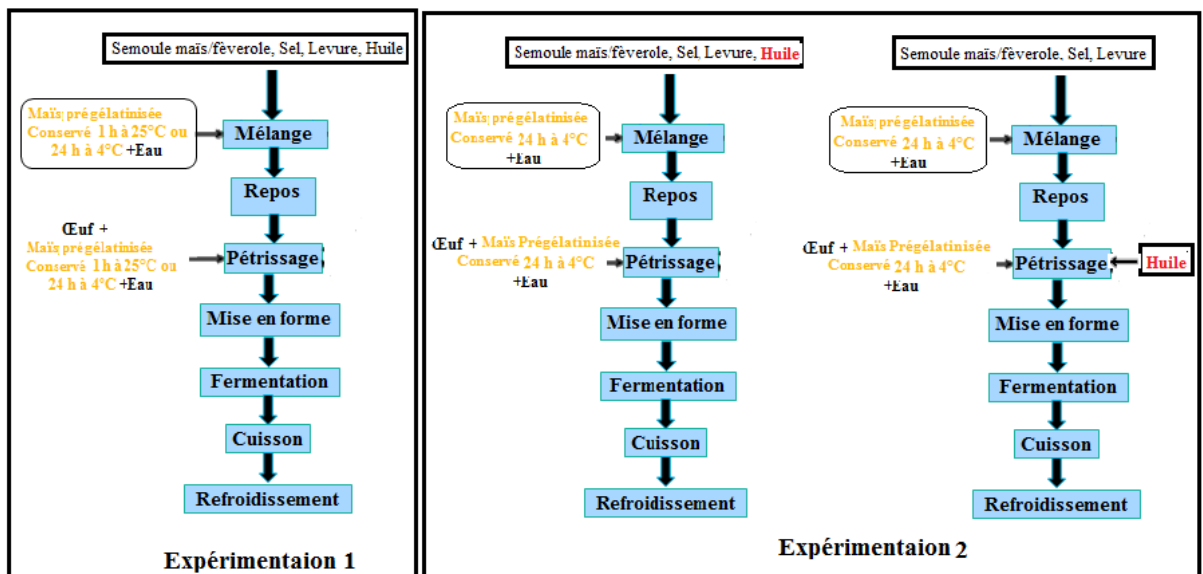


FIGURE19 : Diagramme de fabrication de *khobz Eddar* sans gluten à base du maïs /fèveole en fonction de la température de conservation du farine pré-gélatinisé et l'huile.

c) Analyse statistique

L'analyse statistique est effectuée par STATISTICA version 10. La comparaison entre plusieurs moyennes a été effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur. Des tests à posteriori appropriés (TuKey/Kramer) ont été utilisés pour la comparaison entre les groupes individuels de moyennes. Le niveau de significativité est fixé à 0,05.

d) Resultats

Les résultats des deux expérimentations ont été mentionnés dans le Tableau 31 suivant:

TABLEAU 31 : L'effet de la température de conservation du Farine Prégélatinisé (FP) ajouté à différents pourcentage et de l'huile sur le volume spécifique (V_{sp}) du pain maïs/féverole						
	FP Maïs (g)	0	5	10	15	23
Volume spécifique (cm³/ g)	Conserver 1 h à température ambiante ajoutée à la pâte après l'ajout de l'huile	1,48±0,03	1,75±0,02	1,70±0,02	1,36±0,03	1,31±0,03
	Conserver 24 h à 4°C ajoutée à la pâte après l'ajout de l'huile	1,48±0,03	1,86±0,01	2,05±0,03	1,59±0,01	1,49±0,05
	Conserver 24 h à 4°C ajoutée à la pâte avant l'ajout de l'huile	1,48±0,03	2,18±0,04	2,22±0,02	1,88±0,01	1,77±0,04

Les résultats du Tableau 31 montrent qu'il y a une différence significative (<0,05) entre les pains contenant du FP de maïs conservé 1 h à température ambiante et les pains contenant du FP de maïs conservé 24 h à 4°C, ajoutée à la pâte après l'ajout de l'huile, et une différence significative (<0,05) entre les volumes spécifiques de ces derniers et celles des pains qui contiennent du FP de maïs conservé 24 h à 4°C, ajoutée à la pâte avant l'ajout de l'huile. Les meilleurs volumes spécifiques ont été obtenus avec un améliorant de FP maïs conservé 24 h au réfrigérateur à 4 °C ajoutée à la pâte avant l'huile quelle que soit la quantité de FP ajoutée.

7. PROCESSUS DE PANIFICATION

On a été préparé deux formules de pain *khobz Eddar* sans gluten: *khobz Eddar* maïs /féverole contenant du FP Maïs et *khobz Eddar* riz/féverole contenant du FP Riz.

Les formulations utilisées dans la préparation de *khobz Eddar* sont présentées au Tableau 32 et 33.

Matériel et Méthodes

Les ingrédients : le sel, la levure, l'œuf et huile ont été utilisés à proportion égale dans les deux préparations.

La procédure de base de panification est identique pour les deux formules. Les ingrédients ont été mélangés d'abord à la main. Un prémélange manuel des ingrédients secs, comporte l'ajout de 2g sel et 2g levure à la semoule de maïs ou semoule de riz avec différent poids selon le Tableau 32 et 33 et à la semoule de féverole (33,33g). Ensuite, une partie de la FP (maïs ou riz) et de l'eau (40 ° C) ou la quantité d'eau = la quantité d'eau ajouté à la formule + la quantité d'eau ajouté à la FP= 45ml pour la FMF et 40 ml pour la FRF ont été ajoutés, remplacer la semoule de maïs avec FP maïs sur une base sèche ou de la semoule de riz avec FP de riz sur une base sèche. La pâte obtenue a été recouverte par film alimentaire et mise au repos pendant 10 min à température ambiante. La pâte a été placée dans un mélangeur de marque "Kenwood" et subit ensuite un pétrissage pendant 15 min avec une vitesse de 130 /min. Au cours du pétrissage 10g d'œuf entier battu, le reste de FP (maïs ou riz) et de l'eau (40 ° C) ont été rajoutés progressivement .5 min avant de compléter le pétrissage 20 ml d'huile a été ajouté au mélange. La pâte a été divisée en six pâtons de 70g (avec un volume de pâte d'environ 70 ml). Les pâtons ont été ensuite façonnés, moulés dans un moule de (9,5 x 5 x 3,1 cm³) avant d'être placés pendant 45 min dans une étuve de fermentation dont la température a été réglée à 37°C en présence de buée. Avant la cuisson, les pâtons ont été dorés avec le jaune d'œuf et les grains de sésames et de nigelle sont ajoutés à la surface des pâtons. La cuisson a lieu à 230 °C pendant 30 minutes dans un four pâtisier électrique de la marque SAMSUNG préchauffé en présence de buée afin d'éviter l'assèchement du PSG durant la cuisson. Des essais préliminaires ont été permis de montrer que la couverture de la surface du pain par du papier aluminium 10 min avant la fin de la cuisson évite la brûlure et la fissure du pain. À la sortie du four, les pains ont été démoulés et laissés 1 h à la température ambiante pour son refroidissement, puis caractérisés. Le processus de suivi a été présenté dans le diagramme suivant (Figure 20).

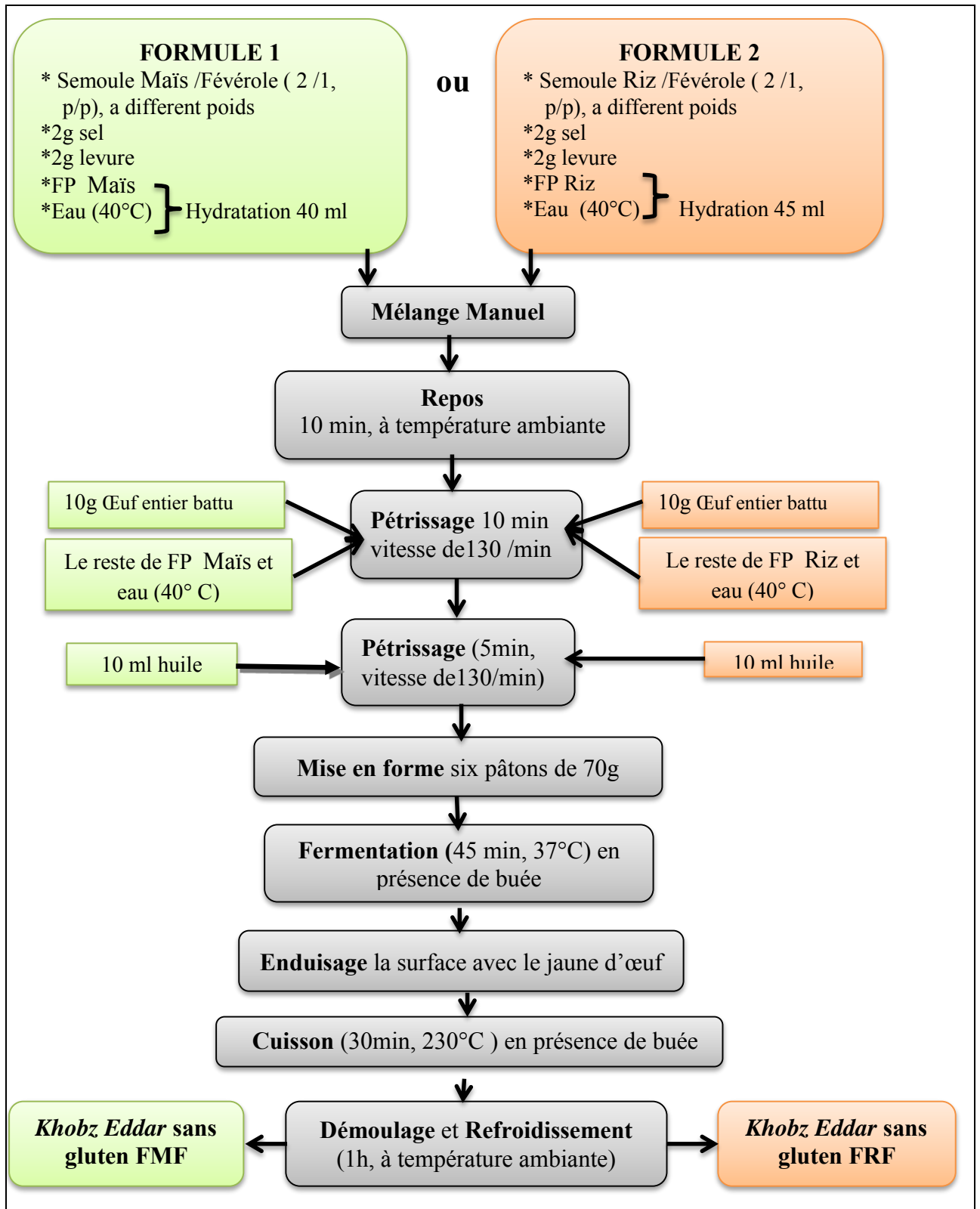


FIGURE 20: Diagramme illustrant les étapes de panification de deux formules de pain sans gluten basé sur les mêmes processus mais différent par leur recette ; Formule 1: formule maïs/fèverole (FMF); Formule 2: formule riz /fèverole (FRF).

TABLEAU 32: Les formulations des 13 essais étudiés de pain maïs/féverole

Eau total		COMPOSITION DE LA FORMULE (FMF)				
		FP Maïs	Semoule		Eau	
Essais	Eau (ml)	FM g dans 100 g ingrédients bruts	SM g dans 100 g ingrédients bruts	SF g dans 100 g ingrédients bruts	ml dans le mélange FP Maïs *	ml ajouté à 100g des ingrédients bruts **
1	115,00	7,05	59,62	33,33	35,25	79,75
2	51,00	7,05	59,62	33,33	35,25	15,75
3	83,00	14,10	52,57	33,33	70,50	12,50
4	60,37	12,03	54,63	33,33	60,17	0,00
5	105,62	2,06	64,60	33,33	10,32	95,30
6	105,62	12,03	54,63	33,33	60,17	45,45
7	60,37	2,06	64,60	33,33	10,32	50,04
8	83,00	0,00	66,67	33,33	0,00	83,00
9	83,00	7,05	59,62	33,33	35,25	47,75
10	83,00	7,05	59,62	33,33	35,25	47,75
11	83,00	7,05	59,62	33,33	35,25	47,75
12	83,00	7,05	59,62	33,33	35,25	47,75
13	83,00	7,05	59,62	33,33	35,25	47,75

SM :Semoule Maïs , SF : Semoule Féverole, FM: Farine Maïs, FP : Farine Prégélatinisé.

*Poids de l'eau dans le mélange FP Maïs = poids FM x5.

** Poids de l'eau ajouter aux ingrédients bruts = Poids de l'eau total – (poids FM x5).

TABLEAU 33 : Les formulations des 13 essais étudiés de pain riz /féverole

Eau total		COMPOSITION DE LA FORMULE RIZ /FEVEROLE (FRF)				
		FP Riz	Semoule		Eau	
Essais	Eau (ml)	FR g dans 100 g ingrédients bruts	SR g dans 100 g ingrédients bruts	SF g dans 100 g ingrédients bruts	ml dans le mélange FP Riz *	ml ajouté à 100g of ingrédients bruts **
1	105,00	6,30	60,37	33,33	31,50	73,50
2	45,00	6,30	60,37	33,33	31,50	13,50
3	75,00	12,60	54,07	33,33	63,00	12,00
4	53,78	10,75	55,91	33,33	53,77	0,00
5	96,21	1,84	64,82	33,33	9,22	86,98
6	96,21	10,75	55,91	33,33	53,77	42,43
7	53,78	1,84	64,82	33,33	9,22	44,56
8	75,00	0,00	66,67	33,33	0,00	75,00
9	75,00	6,30	60,37	33,33	31,50	43,50
10	75,00	6,30	60,37	33,33	31,50	43,50
11	75,00	6,30	60,37	33,33	31,50	43,50
12	75,00	6,30	60,37	33,33	31,50	43,50
13	75,00	6,30	60,37	33,33	31,50	43,50

SR :Semoule Riz , SF : Semoule Féverole, FR: Farine Riz, FP : Farine Prégélatinisé.

*Poids de l'eau dans le mélange FP Riz = poids FR x5.

** Poids de l'eau ajouter au ingrédients bruts = Poids de l'eau total – (poids FR x5).

8. CARACTERISATION DU PAIN

La caractérisation des produits de cuisson comporte : mesure les volumes spécifiques des pains des deux formules, l'analyse de texture (analyse d'image), et l'analyse sensorielle.



8.1. Détermination du volume spécifique

Volume spécifique du gluten pain *khobz Eddar* a été déterminé, en utilisant la formule: $V_{sp} \text{ (cm}^3 \text{ / g)} = \text{Volume du pain (cm}^3) / \text{Poids du pain (g)}$. Après la pesée, le volume des échantillons a été mesuré par la méthode de déplacement de petites particules (semsem) de $0,67 \text{ cm}^3 / \text{g}$ de V_{sp} (Figure 21).

- **Expression des résultats**

Volume des grains sphériques est donné selon la formule suivante:

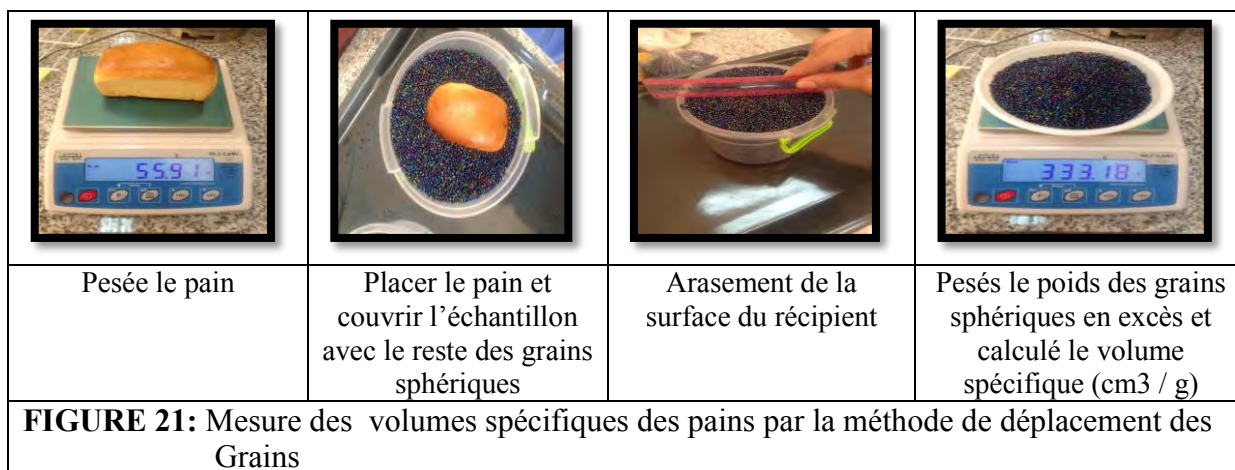
$$V_{gr} = V_s \times P$$

Où:

V_{gr} : volume des grains semsem (cm^3) = volume du pain (cm^3)

V_s : volume spécifique de semsem (cm^3/g) = $0,67 \text{ cm}^3 / \text{g}$

P : poids de semsem (g).



8.2. ANALYSE DE TEXTURE (ANALYSE D'IMAGE)

La mie est considérée dans l'image comme une texture visuelle. La caractérisation directe des alvéoles n'est pas évidente, l'identification de leurs contours sur des images est difficile. Une méthode alternative consiste à décrire les images de mie comme des « textures visuelles » en utilisant des méthodes d'analyse de texture d'images (HARALICK *et al.*,

1973). Ces méthodes sont généralement basées sur la quantification des variations spatiales de teinte codée en niveaux de gris (Figure 22). Parmi ces méthodes, la morphologie mathématique (SOILLE., 2003) utilise des opérations simples dont les résultats s'apparentent à ceux obtenus par granulométrie.

Analyse d'image nécessite de disposer d'un scanner, d'un ordinateur muni de logiciels d'analyse d'images et de traitement de données appropriés.

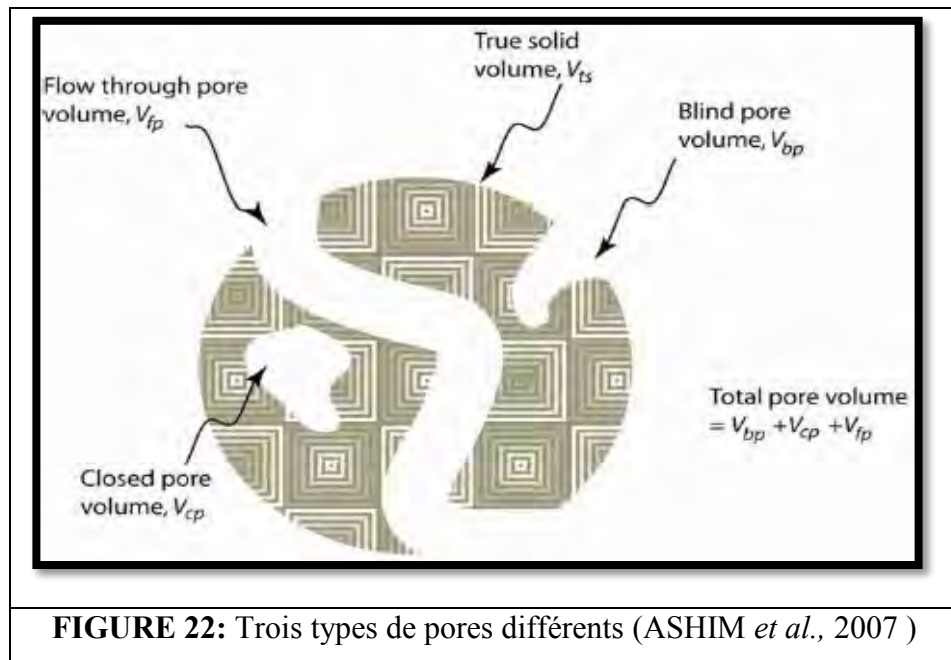


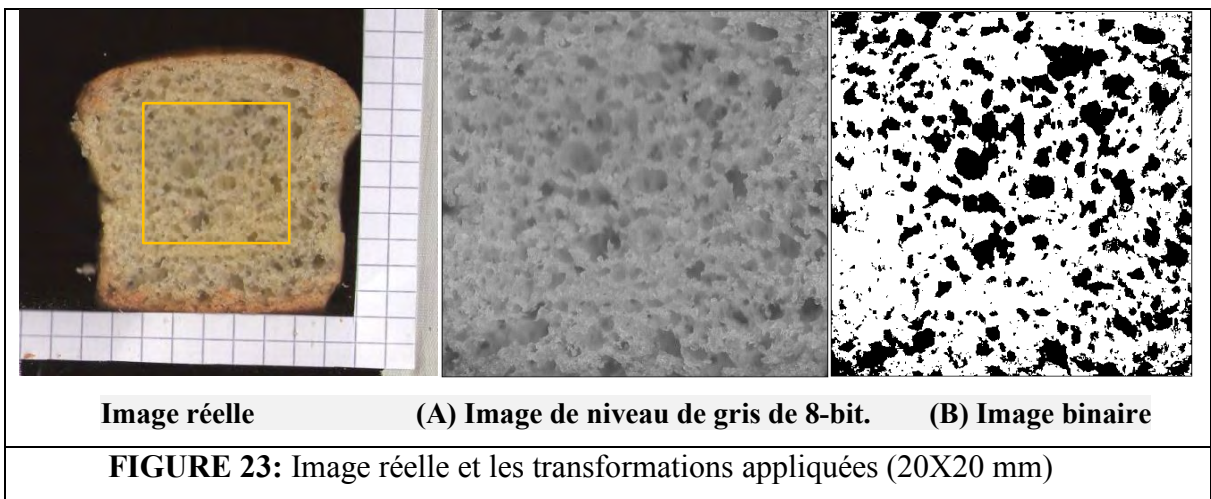
FIGURE 22: Trois types de pores différents (ASHIM *et al.*, 2007)

8.2.1. Acquisition d'image

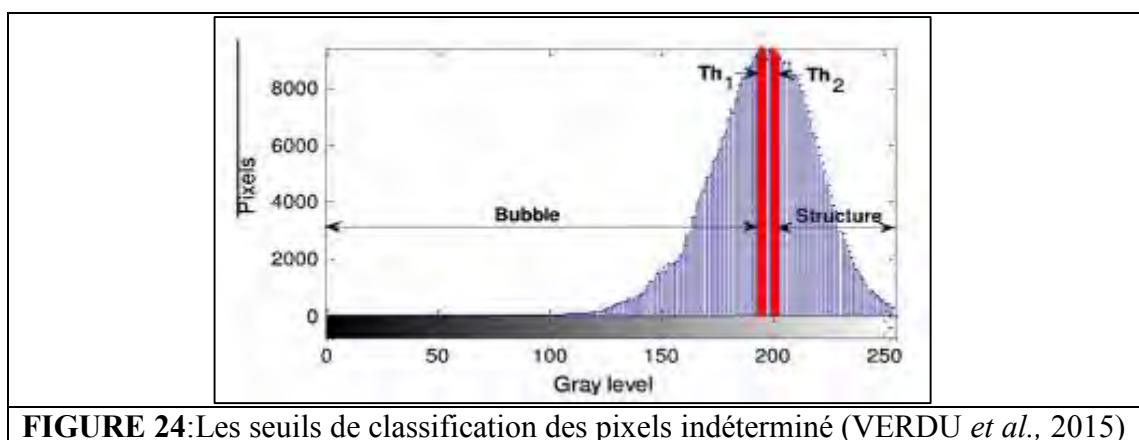
Les trois pains (témoin, FMF optimisé et FRF optimisé) ont été découpés transversalement au centre en deux. La prise d'image se fait à l'aide d'un scanner à plat (Epson Stylus SX105) recouvert d'une boîte noire pour éviter l'influence de la lumière environnante et obtenir un bon contraste entre le fond noir et les tranches claires. Pour minimiser les variations lors de la prise d'image, le positionnement des tranches de mie sur la face du scanner se fait toujours au centre. L'acquisition des images a été faite en couleurs (RGB). Les images ont été scannées pleines échelle à 300 ppp (points par pouce) puis, ils ont été enregistrés au format TIFF (Tagged Image File Format) par le logiciel image J 1.48, provient de la réécriture dans le langage Java du logiciel libre de traitement d'images NIH-Scion Image (National Institute of Health, USA). Le format TIFF permet de garder le maximum d'informations au contraire du format JPEG. Parfois le contraste d'une image n'est pas suffisant pour visualiser un motif. On a été augmenté le contraste d'une image.

8.2.2. Traitement des images

La première étape du traitement consiste à identifier dans l'image la partie contenant les informations à traiter pour comparer les échantillons. L'analyse des images a été réalisée, en utilisant le logiciel image J 1.48 qui utilise le contraste entre les deux phases (pores et une partie solide) dans l'image. A l'aide de barre de longueur connue, les valeurs de pixels ont été converties en unités de distance (mm). Le centre de chaque image (tranche) de pain a été recadrée (20mm× 20 mm) et les images couleur sont converties en images monochromes en niveaux de gris (8 bits). Chaque pixel est associé une teinte codée informatiquement, généralement compris entre 0 et 255 pour les images en niveaux de gris (RUBEL *et al.*, 2015, Figure 24). Procédé de seuil a été utilisé pour différencier des cellules de gaz et les non-cellules où les parties noires de l'image binaire ont été considérées comme des bulles d'air (Figure 23).



A: zones sombres représentent les bulles et les zones claires représentent la structure
 B :pixels noirs représentent les bulles et les pixels blancs sont la structure.



8.2.3. Morphologie mathématique

La morphologie mathématique se définit comme un ensemble de procédures de transformations non-linéaires des images, par la translation d'un masque appelé élément structurant (taille et forme définies) sur l'ensemble d'une image. Par convention, un élément structurant carré de $(2n+1)$ pixels de côté est dit de taille n . Le pixel central de ce masque est appelé pixel de référence et sa valeur est modifiée lors des translations, en fonction de la valeur de ses voisins dans l'élément structurant.

Le plugin ImageJ " analyse de la taille des particules " (Analyse granulométrique) a été appliqué. En conséquence, des paramètres des alvéoles des échantillons de pain ont été calculés : le nombre des alvéoles, surface moyenne des alvéoles (mm^2), pourcentage de la zone des alvéoles (%) (Rapport de la surface des alvéoles à la surface totale), la distribution de la taille des bulles où la surface de bulles est utilisée comme estimation de taille.

L'analyse de la morphologie des alvéoles dépend du facteur de forme (Sh) calculé par équation au-dessous. La valeur Sh permet à la mesure de la circularité ou l'allongement des alvéoles dans l'image acquise. Valeurs de facteur de forme sont souvent normalisées et donc sa valeur varie de 0,00 (de plus en plus forme allongée) à 1,0 (un cercle parfait) (WIWART *et al.*, 2012 , ANNEXE 3). Il est indépendant de la taille de la cellule.

Facteur de forme (Sh) est donné par l'équation :

$$Sh = \frac{4\pi A}{p^2}$$

Ou : **A** = la surface de la cellule
P = le périmètre de la cellule
Sh = facteur forme (Shape)

8.3. Analyses sensorielles

La recherche d'une qualité gustative optimale restera toujours un enjeu majeur, car elle intervient de façon déterminante dans l'acte de ré-achat du produit. L'analyse sensorielle permet d'améliorer un produit en réponse aux attentes sensorielles du consommateur. C'est un ensemble de techniques et de pratiques qui visent à mesurer et à interpréter de façon systématique les perceptions de l'homme, l'instrument de mesure étant le sujet humain.

La caractérisation qualitative des pains faite appelle principalement a des descripteurs liés à la texture même si les descripteurs associés à la saveur, l'odeur, la vue et l'ouïe sont également utilisées par le boulanger (Tableau 34).

TABLEAU 34: Termes retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pains (ROUSSEL <i>et al.</i> , 2010)			
VOLUME			
ASPECT EXTERIEUR			
Section	ronde	normale	plate
Couleur	pale brillante	normale terne	rouge
Finesse de la croûte	fine molle	normale croustillante	épaisse dure
Coups de lame	bien jetés réguliers lisses	peu jetés irréguliers déchirés	pas jetés
ASPECT DE LA MIE			
Couleur	blanche	légèrement crème	grise
Texture	aérée régulière non élastique parois fines	serrée irrégulière élastique parois épaisses	collante
Flaveur (odeur-saveur)	bonne	désagréable	

Procédure

Une seule séance d'évaluation individuelle a été organisée dans le laboratoire LNTA. L'évaluation sensorielle a été conduite dans un endroit bien lumineux à température ambiante et tous les échantillons ont été servis le même jour.

Ce test a été fait avec 10 dégustateurs non formés. Ils ont été sélectionnés parmi les étudiants de l'INATAA.

5 pains de *khobz Eddar* ont été préparés avec différentes formulations: pain témoin à base de blé dur, pain maïs/fèverole sans améliorant, pain riz /fèverole sans améliorant, pain maïs/fèverole avec améliorant dans le domaine d'optimisation, pain riz/fèverole avec améliorant dans le domaine d'optimisation. A chaque échantillon, on a attribué un numéro aléatoire à trois chiffres

125 : *khobz Eddar* de blé dur (témoin) ;

210 : *khobz Eddar* de FMF à 0g de FP maïs ;

430 : *khobz Eddar* de FRF à 0g de FP riz ;

620 : *khobz Eddar* de FMF optimisé ($X_1= 115$ ml, $X_2= 7,05$ g) ;

502 : *khobz Eddar* de FRF optimisé ($X'_1= 105$ ml, $X'_2= 6,30$ g).

Les tests utilisés dans ce travail c'est le test hédonique et le test de classement :

Test Hédonique

Après refroidissement, les dégustateurs ont été appelés à donner leur appréciation pour les échantillons de pains codés. Il a été demandé aux dégustateurs de noter les critères goût,

couleur, arôme, aspect et texture, sur une échelle de 0 à 9. Les descripteurs, que sont l'état extérieur du pain (la couleur de la croûte, forme et aspect, volume, absence de fissure, croûte) et état intérieur du pain (couleur de la mie, la densité des alvéoles, la cohésion de la mie, odeur et goût) (ANNEXE 4). Les dégustateurs disposaient de l'eau distillée pour se rincer la bouche après la dégustation de chaque échantillon.

Test de classement par rang

Il a été demandé aux panélistes de classer par rang les échantillons codés en fonction de l'acceptation, en attribuant une note allant de 0 pour l'échantillon le plus acceptable à 9 pour le moins acceptable sans admettre d'égalités.

A l'issue de la dégustation, les notes ont été analysées statistiquement au seuil de 5% de comparaison des moyennes pour déterminer s'il y a des différences significatives entre les différents échantillons.

9. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES ET REPRESENTATIONS

GRAPHIQUES

La saisie et le traitement statistique des données ont été réalisés grâce au logiciel STATISTICA version 10. Toutes les mesures ont été effectuées en triple. Les résultats sont exprimés en tant que moyenne \pm écartype. La comparaison entre plusieurs moyennes est effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur.

Afin de tester la validité du modèle, l'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée afin d'examiner la signification et l'adéquation du modèle. Ce dernier permet de tracer les surfaces de réponse, d'estimer l'influence et l'interaction simultanées des facteurs sur le V_{sp} . Le logiciel MINITAB 17 (Minitab Inc., State College PA, USA) a été utilisé pour déterminer les coefficients pour chaque réponse. Le degré de signification des coefficients a été déterminé à l'aide de la valeur de p , le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

Après l'étape de la modélisation, nous représentons le modèle graphiquement à l'aide des courbes des surfaces de réponse et graphiques de contour qui permettent d'observer le comportement des réponses en fonction des paramètres (Hydratation, FP) afin d'optimiser le volume spécifique. La représentation graphique de ces équations a été effectuée, en utilisant le logiciel statistique JMP (Version 11.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Elles permettent d'illustrer les effets linéaires, quadratiques et interactifs sur chaque variable de sortie.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. COMPOSITION CHIMIQUE DES SEMOULE ET DES FARINES

L'interaction entre les différents composants de la semoule et de l'eau est importante à la propriété de la pâte et à la qualité du pain, ces composants doivent être évalués, en particulier lors de la modification d'une formulation de pain, telle que celle qui est dans le cas de la fabrication de PSG (PONGJARUVAT *et al.*, 2014).

Les résultats présentant la composition chimique des semoules (blé, maïs, riz et féverole), des farines (maïs, riz) et des formules (FMF, FRF) ont été consignés dans le Tableau 35.

TABLEAU 35 : Principaux constituants des matières premières (g pour 100g de matières premières) semoule et farine						
(n = 3)	Humidité (%)	Protéines (%) MS	Lipides (%) MS	Cendres (%) MS	Glucides totaux*(%) MS	Totaux (%) MS
<i>Matières premières (semoule) pour la préparation du pain khobz Eddar</i>						
S Blé dur	14,20±0,00	13,93±0,00	0,67± 0,01	0,83±0,00	84,57	100
S Maïs	6,66±0,00	9,77±0,00	1,14± 0,01	1,40±0,01	87,69	100
S Riz	10,30±0,14	9,42±0,10	0,06 ±0,04	1,66± 0,23	88,86	100
Féverole	10,00±0,28	30,86± 0,55	1,03±0,00	2,66±0,00	65,45	100
<i>Formules**</i>						
FMF	7,77	16,80	1,10	1,81	80,27	100
FRF	10,19	16,56	0,38	2,00	81,05	100
<i>Matières premières (Farine) pour la préparation des farins pré-gélatinisés</i>						
F Maïs	8,33±0,46	8,74 ±0,00	3,97±0,23	1,4±0,01	85,89	100
F Riz	10,66±0,47	6,04 ±0,38	0,36± 0,07	1,33±0,00	92,27	100

Valeurs des glucides totaux obtenues par différence, ** Valeurs obtenues par calcul sur la base de 2/3 (p/p) céréale et 1/3 (p/p) Féverole, n : nombre d'essais, **FMF** : Formule Maïs - Féverole, **FRF** : Formule Riz-Féverole, **S** : Semoule, **F** : Farine. **MS** : matière sèche.

1.1.Composition physico-chimique des semoules

La teneur en eau de la semoule de blé dur utilisé pour la fabrication du pain témoin a été de 14,2±0,00% (MS). Cette valeur est supérieure à celle obtenue avec DIB (2013) avec la semoule de BENAMOR de Guelma (14,12±0,28)% tandis qu'elle est inférieure à celle obtenue par BENATALLAH (2009) avec de la semoule de l'ERAD de Sétif (14,73 ± 0,22)% et à la valeur maximale du Codex STAND 178-1991 (14.5%).

La teneur en protéine de la semoule de blé dur a été de 13,93±0,00% tandis que celle de FMF et FRF a été respectivement de 16,80 % et de 16,56%, cela peut s'expliquer que les graines de légumineuses (féverole) sont des sources importantes de protéines et même de minéraux et également riche en amidon, la féverole est énergétique. Donc, la féverole pourrait

être ajoutée convenablement à la semoule du riz ou du maïs pour préparer des pains sans gluten de haute valeur nutritionnelle.

La valeur de la teneur en protéine de la semoule de blé dur est supérieure à la valeur minimale du Codex STAND 178-1991 (10,5 %) et celle obtenue par BENATALLAH (2009), DIB (2013) et HEBRARD (2002) ($13,25\pm 2$, $13,52\pm 0,42$ et $13,5\pm 0,5$ respectivement). La richesse en protéines d'une semoule et les propriétés intrinsèques de celle-ci constitue un paramètre de qualité important. Elle dépend de nombreux facteurs tels que la variété, les conditions de culture, le stade de maturité du grain.

La teneur en lipide de la semoule de blé dur ($0,67\pm 0,01$ %) a été inférieure à celle de FMF (1,10 %) et supérieure à celle de FRF (0,38%). La teneur en lipide de FMF a été plus élevée que celles qui est obtenue avec FRF.

La teneur en cendres du blé (expression de la richesse en éléments minéraux) est une caractéristique de pureté de la semoule, qui augmente avec le taux d'extraction. Elle peut varier considérablement en fonction de la région et des conditions climatiques pendant la croissance (FEUILLET, 2000). Dans les conditions de mouture appliquées en Algérie (taux d'extraction 80%) le taux de cendre des semoules est souvent élevé et varie entre 1,8 et 2,3% (BENBELKACEM *et al.* 1995) et selon DEXTER et MATSUO (1977), une belle semoule a une teneur en cendre de 0,75% à 0,90%.

Les teneurs en cendres des semoules des deux formules (1,81% pour FMF et 2,00 % pour FRF) et celles qui sont en glucides totaux (80,27 % pour FMF et 81,05 % pour FRF) ont été plus élevées que celles qui sont obtenues avec de la semoule de blé dur pour les cendres ($0,83\pm 0,00$ %) et pour les glucides totaux (84,57%). La teneur en cendre de la semoule de blé dur est inférieure à la dose maximale indiquée dans le Codex STAN 178-1991 (1,3%).

1.2.Composition physico-chimique des farines

Caractéristiques physico-chimiques des farines utilisées pour la préparation des farines prégélatinisées ont été résumées dans le Tableau 17.

La teneur en humidité de la farine de riz ($10,66\pm 0,47\%$) et ce glucide totaux (92,27%) ont été plus élevés que celles qui sont obtenues avec la farine de maïs pour l'humidité ($8,33\pm 0,46\%$) et pour les glucides totaux (85,89%). La teneur en lipide, en cendre et en protéine a été, par contre, élevée dans la farine de maïs ($3,97\pm 0,23\%$, $1,4\pm 0,01\%$, et $8,74\pm 0,00$ % respectivement) que dans la farine de riz ($0,36\pm 0,07\%$, $1,33\pm 0,00$, $6,04\pm 0,38\%$ respectivement).

Conclusion

Sur le plan de la composition chimique, la semoule de blé dur utilisé pour la préparation du pain témoin a une teneur en protéine supérieure à celles de la semoule de maïs ou de riz.

Les graines de fève sont des sources importantes de protéines, de lipides et même de minéraux. Ils peuvent être ajoutés convenablement à la semoule du riz ou du maïs avec un rapport de 1/2 pour préparer des pains sans gluten de haute valeur nutritionnelle. Ces résultats indiquent que l'ajout de la fève donne des pains qui non seulement sont plus riches en protéines, mais également sont plus énergétiques.

La farine de maïs utilisée pour la préparation de farine prégélatinisée à une teneur en lipide, en cendre et en protéine comparativement à la farine de riz élevés. Le composant principal du riz est les glucides totaux.

2. CARACTERISATIQUES GRANULOMETRIQUES

2.1. Granulométrie des semoules destinées à la fabrication du pain témoin et pain sans gluten des deux formules

Les pains *khobz Eddar* sans gluten ont été fabriqués à partir des produits moulus. Les résultats (Figure 23) montrent que pour les trois semoules de blé dur, maïs et fève, la majorité de la répartition est portée sur la classe] 380-450]µm avec respectivement 73,83% pour la Semoule de Maïs (SM), suivie de la Semoule de Blé Dur (SBD) avec 63,19%, enfin de la Semoule de Fève (SF) avec 62,72 %, alors que pour la semoule de riz la majorité de la répartition est portée sur la classe]450-500]µm qui représente 80,39%.

Une étude récente menée par DE LA HERA *et al.*, (2013) suggère que la taille des particules pourrait fortement influencer sur le développement de la pâte de PSG pendant la fermentation et les caractéristiques finales de pain de maïs sans gluten.

Les semoules utilisées présentent une granulométrie inférieure à 500 µm et répondent bien aux exigences de la panification tunisienne où la semoule sassées super extra SSSE avec une granulométrie varie de 190 à 550 µm est utilisée pour la fabrication du pain traditionnel.

Particulièrement, la farine avec des particules grossières dures pourrait être plus appropriée pour faire le PSG car, ils ne seraient pas facilement désagrégés pendant le mélange et nécessiteraient éventuellement un plus petit réseau d'hydrocolloïde et d'eau pour les couvrir afin d'obtenir la substitution de réseau de gluten. En conséquence, ils auraient une plus

grande disponibilité de la pâte à retenir le gaz pendant la fermentation qui pourrait à son tour conduire un pain à grand volume (PONGJARUVAT *et al.*, 2014).

2.2. Granulométrie des farines destinées à la fabrication des farines prégélatinisées

Selon le CODEX STAN 152 de 1985 (F.A.O, 1995a), l'appellation *farine*, désigne tout broyat de granulométrie < 212 µm.

La farine de riz utilisée pour la fabrication de FP se caractérise par la prédominance de la fraction] 125-200] µm avec 82,38%. Pour la farine de maïs nous avons remarqué que sa distribution a été équilibrée entre les deux classes granulométriques] 125-200] µm et <125µm avec des pourcentages de 40,33% et 59,10% respectivement (Figure25).

Selon HAN *et al.*, (2010), le degré de gélatinisation a été plus élevée dans les particules de petite taille.

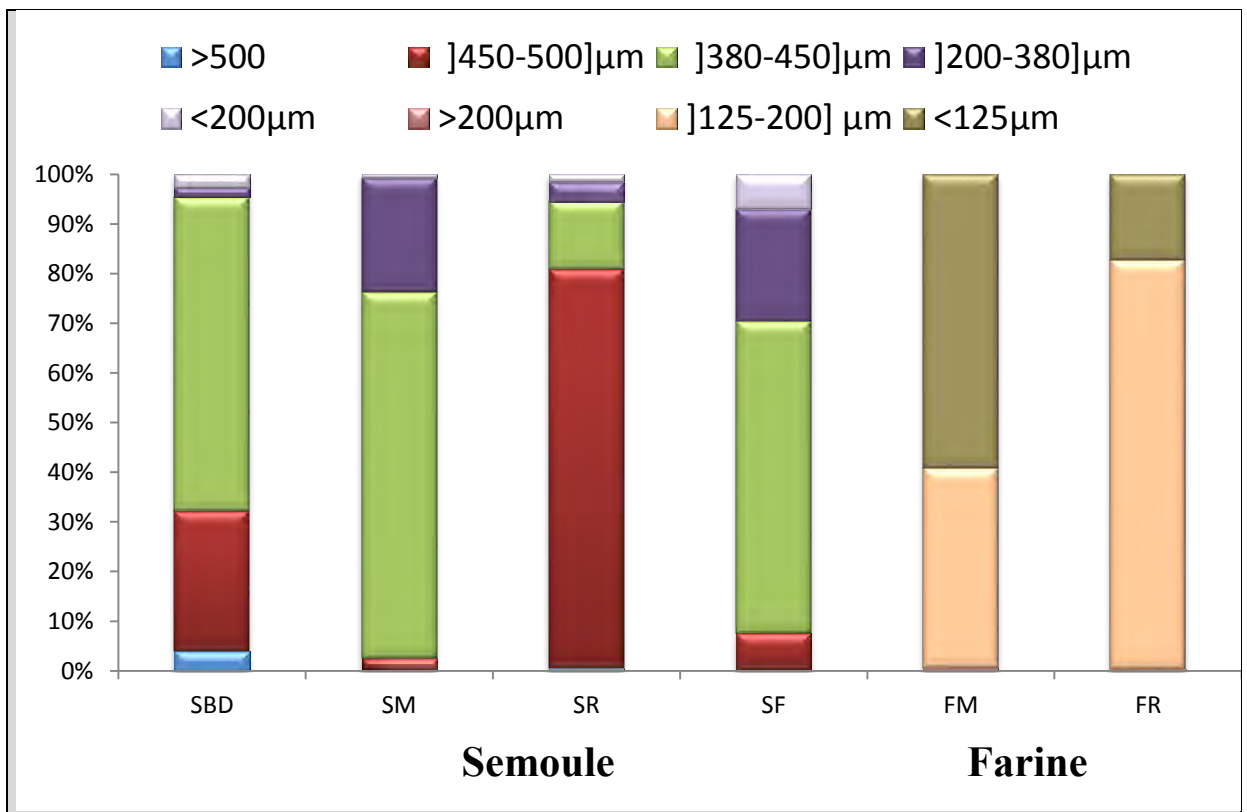


FIGURE25: Granulométrie des semoules destinées à la fabrication de *khobz Eddar* et des farines destinées à la fabrication du farine prégélatinisé.
 SBD : Semoule de Blé Dur, SM : Semoule de Maïs, SR : Semoule de Riz, SF : Semoule de Fèverole, FM: Farine de Maïs, FR : Semoule de Riz.

Conclusion

Les semoules destinées à la fabrication de pain khobz Eddar témoin et sans gluten sont des semoules fines (<500 µm), pour les farines destinées à la fabrication de la farine prégélatinisée, les fractions fines sont observées pour la farine de maïs.

3. CARACTERISTIQUES RHEOLOGIQUES DE LA PATE BLE DUR PAR L'ALVEOGRAPHIE CHOPIN

WOËSE *et al.*, (1997) qui ont indiqué que les propriétés viscoélastiques de la pâte dépendent surtout de la teneur en protéines totales des grains et que tout taux faible de protéines aura des effets négatifs sur les qualités sensorielles du pain y compris l'alvéogramme Chopin. Dans ce même contexte, FEILLET (2000) a montré que l'accroissement de la teneur en protéines se traduit par une augmentation de la pression P et du gonflement G des alvéogrammes mais certaines variétés réagissent plus que d'autres.

Caractéristiques	G (cm ³)	P/L	W (10 ⁻⁴) J
Semoule de blé dur	12,95±1,06	2,155±0,58	91,5±0,70

Selon BOGGINI *et al.*, (1997), BOYACIOGLU et D'APPOLONIA (1994) et BORGHI *et al.*, (1997), dans la panification, le rapport P/L de la semoule ne devrait pas être supérieur à 2, avec un optimum allant de 0,4 à 0,8, alors l'examen du Tableau 36 au-dessus montre que la valeur de P/L (2,155±0,58) de notre semoule de blé dur utilisée pour la préparation de pain *khobz Eddar* témoin est supérieure à 2, par contre cette valeur de P/L (2,155±0,58) se situe dans l'intervalle des valeurs rapportées par PASQUALONE *et al.*, (2004) qui comprise entre 0,34 à 2,50 avec une valeur de W varie de 71.10⁻⁴ à 176.10⁻⁴J et les valeurs rapportées par RAFFO *et al.*, (2003) qui comprise entre 1,9 à 2,50 avec une valeur de W varie de 147.10⁻⁴ à 250.10⁻⁴J.

La force de la semoule (W) est souvent spécifiée en termes de propriétés alvéographiques. Le volume du pain était fortement corrélé avec le travail mesuré à l'alvéographe, ce qui confirme l'avantage d'un gluten fort pour la panification. La qualité boulangère du blé dur présente une relation positive avec la force du gluten.

En blé tendre panifiable, correspondant à la classification italienne, W devrait être dans l'intervalle 155.10⁻⁴–180.10⁻⁴ J (BORGHI *et al.*, 1997).

La valeur de W (91,5±0,70 J) de notre semoule a été situé dans l'intervalle des valeurs rapportées par PASQUALONE *et al.*, (2004) et inférieur aux valeurs rapportées par RAFFO *et al.*, (2003) et BORGHI *et al.*, (1997). Une semoule avec une valeur de force boulangère varie de 160 à 250 J pouvant être utilisées dans la panification (ITCF et ONIC, 1995).

KITISSOU (1995) rapporte que ses caractéristiques sont liées à la quantité de protéines, à la qualité de son réseau et à la capacité de fixation des différents constituants, protéines, amidon et pentosanes. Selon le même auteur, un excès d'endommagement de

l'amidon a une influence notable sur les résultats alvéographiques. Une augmentation du degré d'endommagement accroît le potentiel d'hydratation de la farine.

4. PROPRIETES D'HYDRATATION DES FARINES DE MAÏS ET DE RIZ GELATINISEES

Selon BRYANT *et al.*, (2001) et YAĞCI et GÖĞÜŞ, (2008), WAI peut être utilisé pour donner une indication de la viscosité de la pâte à froid, qui est en corrélation avec le degré de cuisson, et WSI peut être utilisé comme une indication du degré de dégradation moléculaire.

Le Tableau 37 montre les propriétés d'hydratation des farines de maïs et de riz gélatinisées.

	WAI (g/g)	WSI (g/100g)	SP (g/g)
MAÏS	8,60±0,62	26±2,82	0,11±0,00
RIZ	12,48±0,28	12±0,00	0,14±0,00

WAI (g/g): Indice d'absorption d'eau, **WSI** (g/100g): l'indice de solubilité dans l'eau, **SP** (g/g): le pouvoir de gonflement

La farine de riz, a présenté la valeur la plus élevée de SP (0,14±0,00) (g/g).

Les mesures de l'indice d'absorption d'eau (WAI) indiquent que la farine de riz absorbé plus d'eau (12,48±0,28) g/g que celle de la farine de maïs (8,60±0,62) g/g.

CORNEJO et ROSELL (2015a) ont été découverts qu'il y'a une corrélation positive entre le pouvoir de gonflement (SP) et WAI. Selon HAN *et al.*, (2010), l'absorption d'eau et le pouvoir de gonflement augmente lorsque la taille des particules a été augmentée.

Entre la farine de maïs et de riz, il y a une différence significative ($p > 0,05$) entre leurs indice de solubilité dans l'eau (WSI) (26±2,82 g/100g pour la farine de maïs et 12±0,00 g/100 pour la farine de riz) et il n'y a eu aucune différence significative ($p < 0,05$) entre SP moyenne de la farine de maïs (0,11±0,00) g/g et celle de la farine de riz (0,14±0,03)g/g.

Selon PONGJARUVAT *et al.*, (2014) l'amidon pré-gélatinisé avait un WAI élevé, lorsque les grains d'amidon ont été précuite ou leur structure rompue telle qu'ils pourraient facilement absorber l'eau et être facilement dissous dans l'eau froide.

WSI de la farine de maïs est supérieure à celle de la farine de riz, Selon CORNEJO et ROSELL (2015b), ceci pourrait être expliquée par le changement produit dans la structure de l'amidon et de la présence de sucres libérés qui va interagir avec l'amidon et formant des gels plus compacts. En outre, les sucres pourraient interagir avec de l'eau et empêchant l'eau disponible pour l'hydratation de l'amidon (PERONI-OKITA *et al.*, 2013).

Une farine à haute valeur de WSI et à faible valeur de WAI, est idéale pour être utilisée dans les boissons énergétiques à cause de leur grande solubilité. En outre, une farine avec une valeur de WSI élevée et une valeur de WAI faible, pourrait être utilisée dans les produits tels que la soupe à faible teneur en graisses, où la principale préoccupation est une viscosité élevée (BRYANT *et al.*, 2001).

Conclusion

Le comportement des amidons de la farine lors des traitements thermiques résulte des restructurations de l'architecture interne des granules. La gélatinisation est l'un des phénomènes le plus étudié.

WAI est un indicateur de la viscosité, WSI peut être utilisé comme indicateur du degré de dégradation moléculaire.

L'indice de solubilité dans l'eau (WSI) de la farine de maïs est supérieur à celle de la farine de riz, alors que l'indice d'absorption d'eau (WAI) indique que la farine de riz absorbe plus d'eau.

La farine de maïs est plus visqueuse que la farine de riz car elle a une WSI élevée et une WAI faible.

5. EFFET D'HYDRATATION ET DE FARINE PREGELATINISE SUR LE VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN KHOBZ EDDAR SANS GLUTEN

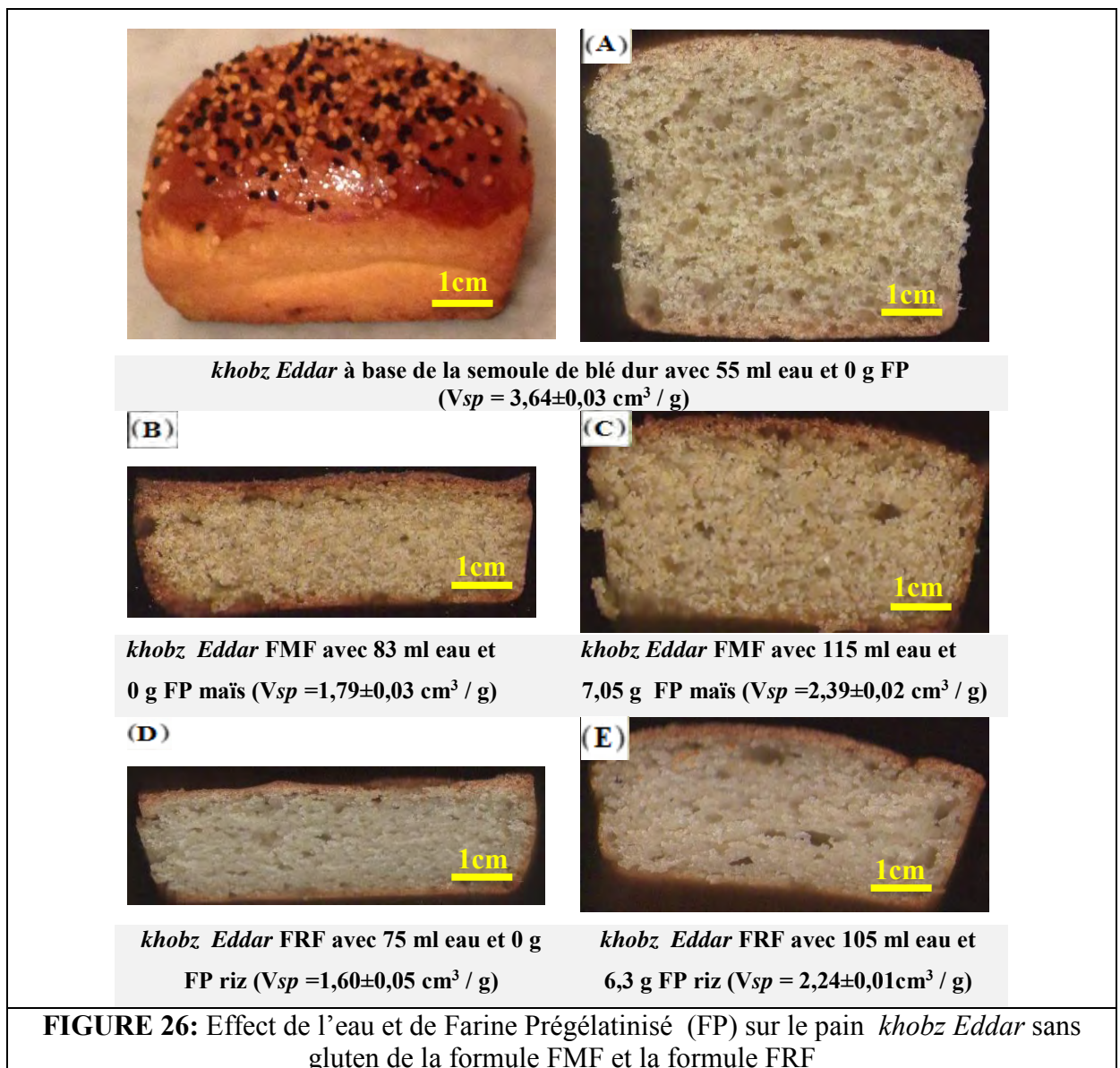
L'effet d'une gamme d'eau et de FP sur le volume spécifique (V_{sp}) de pain *Khobz Eddar* FMF et FRF a été résumé dans le Tableau 38.

TABLEAU 38 : Les réponses des pains de la Formule Maïs / Féverole (FMF) et la Formule Riz / Féverole				
Essais	Niveaux codés des variables		Réponses	
			V_{sp} FMF	V_{sp} FRF
	X_1 ou X'_1	X_2 ou X'_2	Y	Y'
1	+1,414	0	2,39±0,02	2,24±0,01
2	-1,414	0	1,87±0,07	1,74±0,03
3	0	+1,414	2,12±0,02	1,85±0,02
4	-1	1	1,64±0,03	1,55±0,04
5	+1	-1	2,07±0,04	2,15±0,01
6	+1	1	2,12±0,06	1,78±0,02
7	-1	-1	1,67±0,01	1,61±0,07
8	0	-1,414	1,79±0,03	1,60±0,05
9	0	0	2,16±0,03	1,96±0,02
10	0	0	2,13±0,01	1,99±0,02
11	0	0	2,05±0,02	2,02±0,03
12	0	0	2,12±0,02	2,04±0,02
13	0	0	2,10±0,01	1,93±0,01

Résultats et discussion

Pain de FMF avait un V_{sp} varié de $1,64 \pm 0,03$ à $2,39 \pm 0,02$ cm^3 / g . Le V_{sp} le plus élevé ($2,39 \pm 0,02$ cm^3 / g) a été obtenu avec une valeur de 115 ml d'eau et 7,05 g de FP maïs. Ce V_{sp} a été inférieur à celle de *khobz Eddar* de la semoule de blé dur ($3,64 \pm 0,03$ cm^3 / g) et supérieur à celle de *khobz Eddar* FMF sans agent améliorant de FP maïs ($1,79 \pm 0,03$ cm^3 / g) (Figure 26 A, B, C).

Le V_{sp} de *khobz Eddar* FRF a été augmenté de $1,55 \pm 0,04$ à $2,24 \pm 0,01$ cm^3 / g , ce qui est considérablement inférieur à la valeur de $3,64 \pm 0,03$ cm^3 / g de *khobz Eddar* de la semoule de blé dur. Le V_{sp} la plus élevée ($2,24 \pm 0,01$ cm^3 / g) a été obtenu avec une valeur du 105 ml d'eau et 6,3 g de FP riz. Ce V_{sp} a été supérieur à celui *khobz Eddar* FRF sans agent améliorant de FP riz ($1,60 \pm 0,05$ cm^3 / g) (Figure 24A, D, E).



6. OPTIMISATION DU VOLUME SPECIFIQUE DU PAIN KHOBZ EDDAR SANS GLUTEN DES DEUX FORMULES PAR LA METHODE DES SURFACES DE REPONSE

La méthode des surfaces de réponse a été utilisée pour étudier les effets de l'eau et du FP sur le V_{sp} du pain sans gluten. Cette méthode nous a permis de déterminer une relation d'approximation entre les variables d'entrée (Hydratation, FP) et la réponse de sortie V_{ps} .

6.1. MODELISATION STATISTIQUE DU VOLUME SPECIFIQUE

Grâce à l'estimation d'une surface de réponse pour chaque paramètre, nous avons pu déterminer la relation entre les variables d'entrée et les réponses.

6.1.1. Modélisation de la réponse volume spécifique du pain de la formule maïs/fèverole

Le Tableau (39) montre que l'effet linéaire de l'eau (X_1) et l'effet de FP maïs quadratiques de la farine FP maïs (X_2) sont significatifs. En effet, nous remarquons que le coefficient de régression de l'effet linéaire de l'eau b_1 présente une valeur de p inférieure à 0,01. Les autres termes de modèles ne sont pas significatifs car la valeur de p est supérieure à 0,05. Ce qui montre l'absence de l'effet linéaire de FP maïs (X_2), l'effet quadratique de l'eau (X_1) et d'effets d'interaction entre les facteurs étudiés (ANNEXE 5a). Afin de simplifier le modèle nous allons donc éliminer les autres termes de l'équation. Donc la réponse de Y peut se résumer dans le modèle empirique suivant :

$$Y = 0,706 + 0,0183 X_1 - 0,00484 X_2.X_2$$

TABLEAU 39: Analyse de la variance et des paramètres statistiques du modèle de volume spécifique (V_{sp}) de <i>khobz Eddar</i> de la formule maïs/ fèverole				
Coefficients de régression	Valeurs	t- valeur	p- valeur	Modèle
b_0	0,706	41,57	0,000	$Y = 0,706 + 0,0183 X_1 + 0,0658 X_2 - 0,000064 X_1.X_1 - 0,00484 X_2.X_2 + 0,000177 X_1.X_2$
b_1	0,0183	5,03	0,002	
b_2	0,0658	1,51	0,174	
b_{11}	- 0,000064	-0,76	0,470	
b_{22}	- 0,00484	-2,79	0,027	
b_{12}	0,000177	0,35	0,735	

6.1.2 Modélisation de la réponse volume spécifique du pain de la formule riz /fèverole

L'analyse de la variance résumée dans le Tableau 40 montre que l'effet linéaire de la variable eau (X'_1) et l'effet quadratiques de la farine FP riz (X'_2) sont significatifs. En effet, nous remarquons que les coefficients de régression b'_1 , b'_{22} présentent des valeurs de p inférieures à 0,05. Toutefois, nous remarquons aussi l'absence des effets : linéaire de X'_2 ,

quadratique X_1 et les effets d'interaction car les coefficients de régression qui correspondent à chacun de ces effets présentent des valeurs de p qui sont supérieures à 0,05 (ANNEXE 5b). Pour simplifier le modèle, la réponse de Y' peut se résumer dans le modèle empirique suivant :

$$Y' = 0,403 + 0,0206 X_1 - 0,00770 X_2 \cdot X_2$$

TABLEAU40 : Analyse de la variance et des paramètres statistiques du modèle de volume spécifique (V_{sp}) de <i>khobz Eddar</i> de la formule riz /féverole				
Coefficients de régression	Valeurs	t- valeur	p- valeur	Modèle
b'_0	0,403	37,27	0,000	$Y' = 0,403 + 0,0206 X_1 + 0,1563 X_2 - 0,000045 X_1 \cdot X_1 - 0,00770 X_2 \cdot X_2 - 0,000820 X_1 \cdot X_2$
b'_1	0,0206	4,38	0,003	
b'_2	0,1563	-0,23	0,827	
b'_{11}	- 0,000045	-0,45	0,668	
b'_{22}	- 0,00770	-3,38	0,012	
b'_{12}	0,000820	-1,30	0,235	

6.2. DIAGRAMMES DE SURFACE DES REPONSES

Le diagramme de surface de réponse permet de illustrer l'effet linéaire, quadratique et interactif sur la variable de sortie V_{sp} .

6.2.1. Optimisation de volume spécifique maïs/féverole

Le courbe de la Figure 27 montrent que le V_{sp} des échantillons a été augmenté avec l'augmentation de la quantité d'eau, ou son effet linéaire était positif ($p < 0,05$). Cependant, l'effet de la quantité de FP maïs a montré un effet quadratique négatif sur le V_{SP} du *khobz Eddar* FMF (Figure 28). Nous notons également l'absence d'effet d'interaction entre ces deux variables.

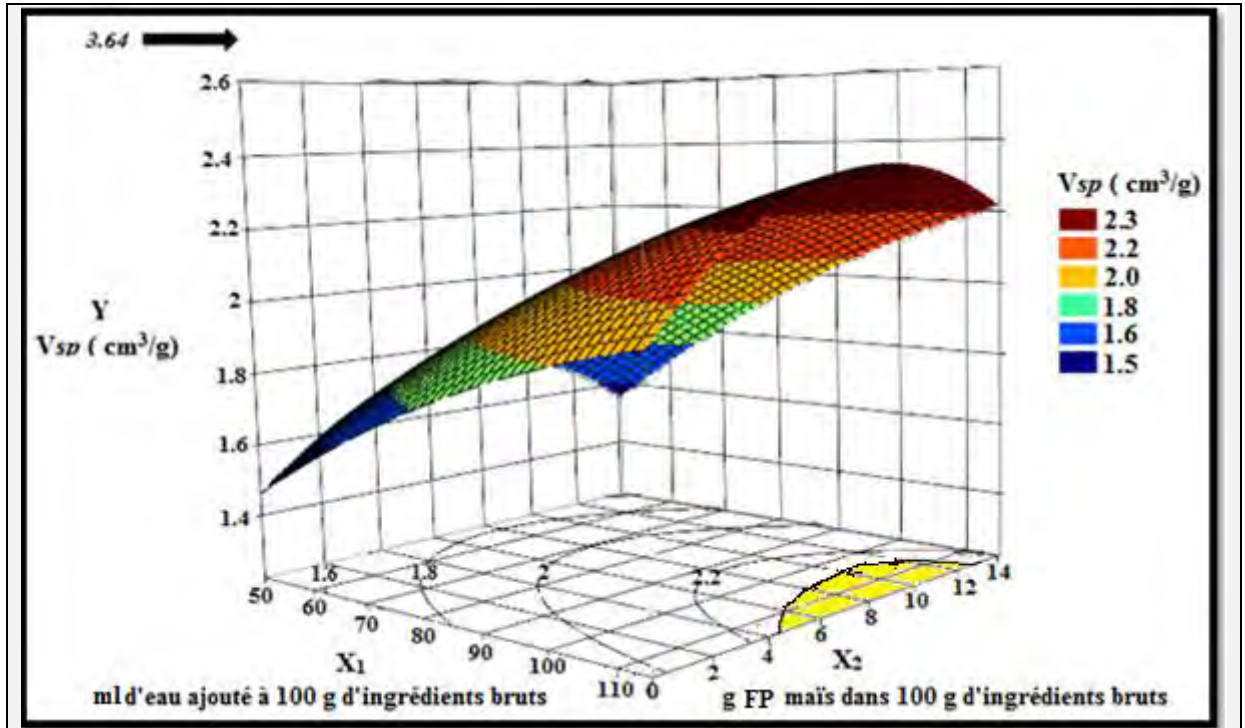


FIGURE 27: Effet de l'hydratation et de la farine pré-gélatinisée maïs sur le volume spécifique (V_{sp}) du *khobz Eddar* de la formule maïs/fèverole sans gluten (→ V_{sp} du pain obtenu à partir de la semoule de blé dur)

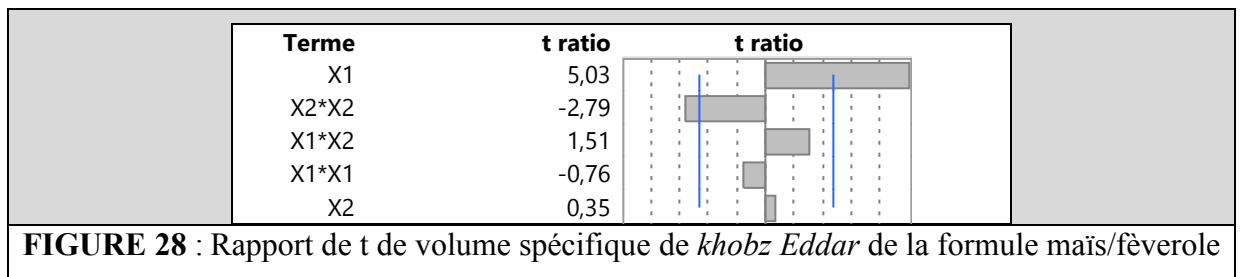


FIGURE 28 : Rapport de t de volume spécifique de *khobz Eddar* de la formule maïs/fèverole

6.2.2. Optimisation de volume spécifique riz/fèverole

Nous constatons qu'il existe deux effets significatifs : un effet linéaire de l'eau et un effet quadratique de FP riz avec l'absence d'effet d'interaction entre les deux variables.

Il peut être observé (Figure 29) que la V_{sp} du *khobz Eddar* FRF dépend de la quantité d'eau ajoutée. En effet, nous observons que l'augmentation de la teneur en eau provoque une augmentation de la valeur de V_{sp} . L'effet de l'eau a montré un effet linéaire positif ($p < 0,05$) et l'effet de la quantité FP riz a montré un effet quadratique négatif ($p < 0,05$) (Figure30).

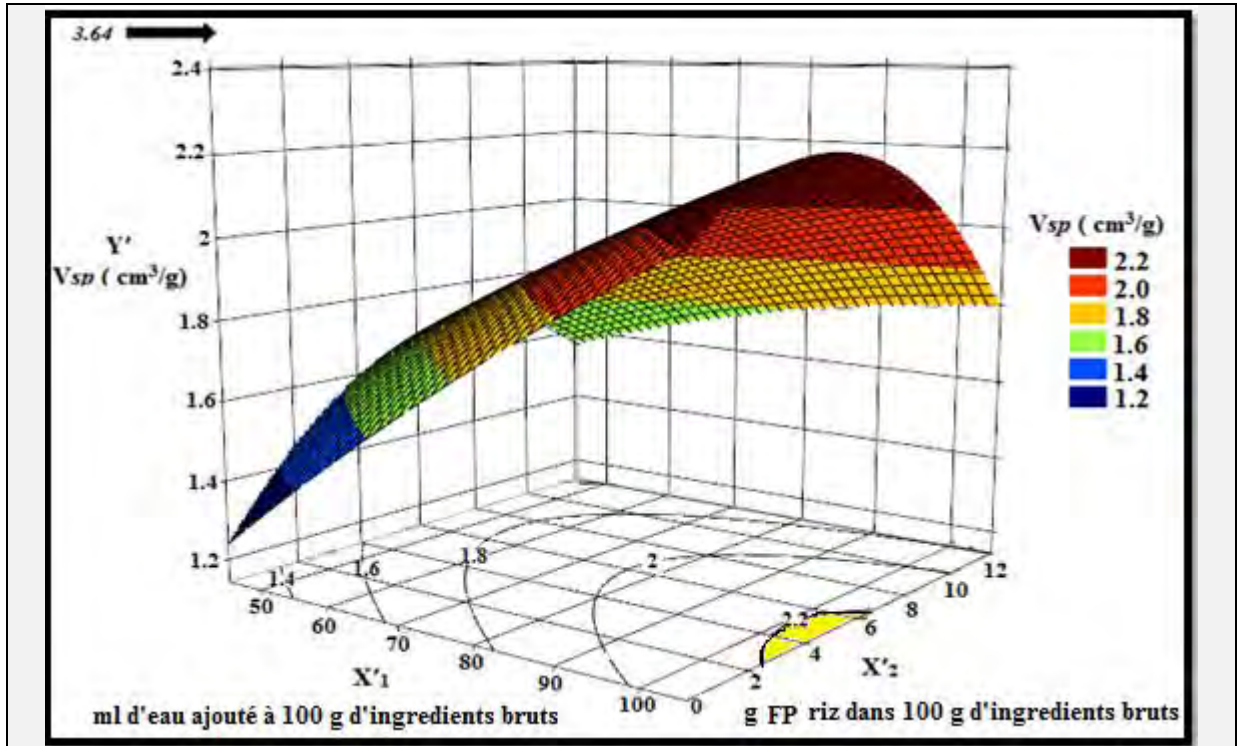


FIGURE 29: Effet de l'hydratation et du Farine Prégélatinisé (FP) riz sur le volume spécifique (V_{sp}) du *khobz Eddar* de la formule riz/fèverole sans gluten (→ V_{sp} du pain obtenu à partir de la semoule de blé dur).

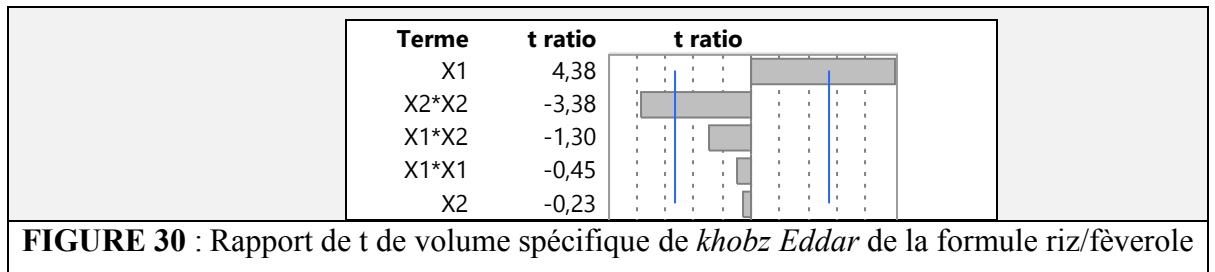


FIGURE 30 : Rapport de t de volume spécifique de *khobz Eddar* de la formule riz/fèverole

Tous les pains FMF sans gluten contenant de FP maïs avait un V_{sp} plus élevée que celles des pains FRF contenant du FP riz, cela peut s'expliquer par la différence de WAI et de WSI ou la farine de maïs a une valeur de WAI inférieur à celle de la farine de riz et une WSI supérieure à celle de la farine de riz, donc elle est plus visqueuse. HAN *et al.*, (2012) constaté qu'une farine avec une faible absorption d'eau produit du pain avec un volume et une fermeté appropriée ou une haute capacité d'absorption de l'eau réduit la viscosité et produit une pâte ferme.

L'ajout de FP maïs ou riz a des effets semblables sur le V_{sp} de *khobz Eddar* de FMF et FRF. Le V_{sp} pour chaque formule de pain sans gluten a donné une courbe quadratique avec

une parabole de l'ouverture à la baisse, principalement due à l'incorporation de FP et de ne pas à l'hydratation qui augmente linéairement le V_{SP} (Figure 27 et 29).

Maxima des deux surfaces de réponse sont près du point axial (+1,414, 0) correspond à $X_1= 115\text{ml}$ et $X_2= 7,05\text{g}$ pour la formule FMF et à $X'_1 = 105 \text{ ml}$ et $X'_2 = 6,3\text{g}$ pour la formule FRF. Aucune grande amélioration du V_{sp} de *khobz Eddar* de FMF ou FRF a été observée à l'ajout d'une quantité plus élevée de FP. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au cours de la cuisson une grande quantité d'amidon a été préalablement gélatinisé et l'évaporation de l'eau pendant la phase de cuisson a été minimale ce qui rend la pâte un peu collante (il reste une quantité d'eau non évaporée).

Nous remarquons aussi l'absence des effets d'interaction pour les deux formules, ceci prouve l'absence d'effets synergiques entre les facteurs étudiés (hydratation, FP).

Le V_{sp} des échantillons a été augmenté avec l'augmentation de l'addition d'eau, ceci peut être lié à la nature féculente de PSG (SCHOENLECHNER *et al.*, 2010).

Le changement de la viscosité du mélange amidon-eau pendant la gélatinisation due au gonflement des granules et si la quantité d'eau est insuffisante pour fournir un gonflement complet et perturbation des granules d'amidon, seule une partie de la cristallinité des granules d'amidon est perdue (BAKS *et al.*, 2007). Lorsque la température augmente, les grains d'amidon, hydrophiles, absorbent de l'eau du milieu, le volume des grains augmente, entraînant la diffusion progressive des molécules d'amylose, ce qui se traduit par l'accroissement de la viscosité apparente de l'empois (COLONNA *et al.*, 1989). La raison pour laquelle *khobz Eddar* sans gluten contenant de FP maïs ou FP riz avait un V_{sp} plus élevé que celui sans FP, pourrait être expliqué par le fait que FP pourrait étendre et faire une structure qui a capturé les bulles d'air (SHIBATA *et al.*, 2011) du pain FMF et FRF pendant la cuisson. Afin de parvenir à un bon volume du pain, la pâte doit avoir assez de force pour développer et maintenir le gaz de CO_2 des cellules et l'amidon gélatinisé dans la phase initiale de la cuisson doit être capable de résister à l'expansion rapide des cellules. (PONGJARUVAT *et al.*, 2014).

Au cours de la cuisson du pain, les granules d'amidon absorbent l'eau, gonflent, et forment des parois rigides qui entourent les bulles de dioxyde de carbone. Au même temps leur rigidité arrête l'expansion des bulles (MCGEE, 2007). Donc, dans FP, les amidons sont déjà gonflés avant qu'ils ont été mélangés avec les autres ingrédients. Cela signifie qu'ils ne doivent pas entrer en concurrence avec l'amidon de la semoule pour absorber l'eau dans le four. Donc FP permet à la pâte d'absorber plus de liquide dû à la pré-gélatinisation de

l'amidon dans la farine, et c'est cette hydratation qui donne ce moelleux et cette fine texture aux pains.

6.3. Graphiques de contour des réponses

Pour les échantillons contenant du FP maïs ou du FP riz, des graphiques de contour des surfaces de réponse ont été présentés dans la Figure 27 et 29, respectivement. Par analyses des tracés de contours et évaluation des relations entre les réponses et les variables, une formulation optimale de pain *khobz Eddar* traditionnel sans gluten est présenté comme un pain ayant un V_{sp} acceptable. Les zones qui présentent les réponses les plus intéressantes de volume spécifique, caractérisées par des valeurs qui s'approchent du point axial (+1,414, 0), sont les zones colorées en jaune (Figure 27 et 29).

Pour la teneur en eau et en FP, les valeurs qui nous intéressent sont les valeurs qui donneront un pain *khobz Eddar* sans gluten de V_{sp} maximal.

D'après la Figure 27 du Pain Maïs/Fèverole (PMF), ces valeurs se situent dans l'intervalle [103,17-115,00] ml pour l'eau et l'intervalle [4,30-13,68] g pour FP maïs dans la zone jaune. La meilleure réponse ($Y=2,39\pm 0,02$ cm³/g) est obtenue avec une teneur en eau $X_1= 115$ ml et une teneur en FP maïs $X_2= 7,05$ g.

D'après la Figure 29 du Pain Riz/Fèverole (PRF), La meilleure réponse de volume spécifique est obtenue avec teneur en eau qui peut aller de [100,42 à 105] ml et une teneur en FP riz qui se situe dans l'intervalle [2,49 à 6,63] g, sont la zone colorée en jaune. La meilleure réponse ($Y=2,24\pm 0,01$ cm³/g) est obtenue avec une teneur en eau $X_1= 105$ ml et une teneur en FP maïs $X_2= 6,3$ g.

6.4. Validation des résultats de l'optimisation

En utilisant les modèles des valeurs prédites pour chacune de la variable de réponse V_{sp} FMF et V_{sp} FRF. Le logiciel Minitab nous permet d'estimer les valeurs prédites par la valeur de d variant de 0 à 1 avec des valeurs parfaites lorsque $d = 1$, et des valeurs acceptables lorsque $d > 0,7$. Le but de cette étude est de maximiser le volume spécifique. Les valeurs des variables (hydratation, FP) optimales sont la suivante : (115 ml, 8,34 g) pour *khobz Eddar* FMF et (105 ml, 6,14 g) pour *khobz Eddar* FRF.

Les réponses prévues sont $Y = 2,38 \pm 0,02$ cm³/g avec une désirabilité de $d= 0,94$ (Figure 31) et $Y' = 2,23 \pm 0,01$ cm³/g avec une désirabilité de $d= 0,87$ (Figure 32).

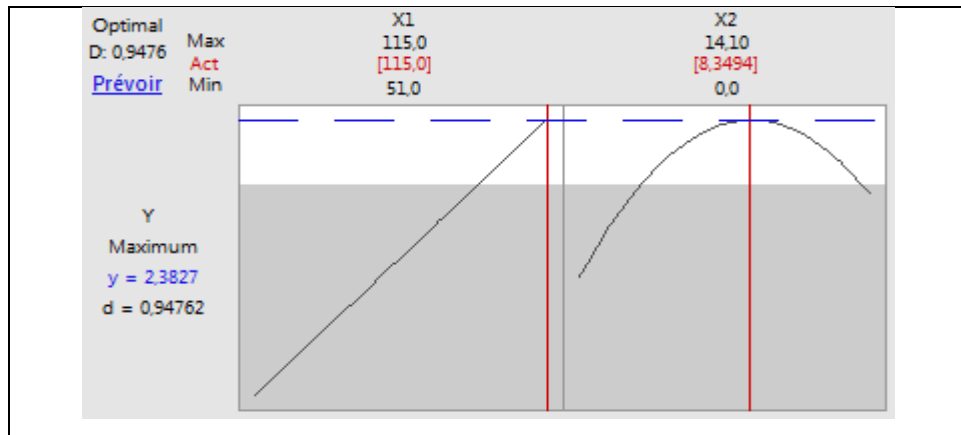


FIGURE 31 : Combinaison optimale (X_1 et X_2) pour un volume spécifique (V_{sp}) de la formule maïs/fèverole maximal et la réponse Y prévue.

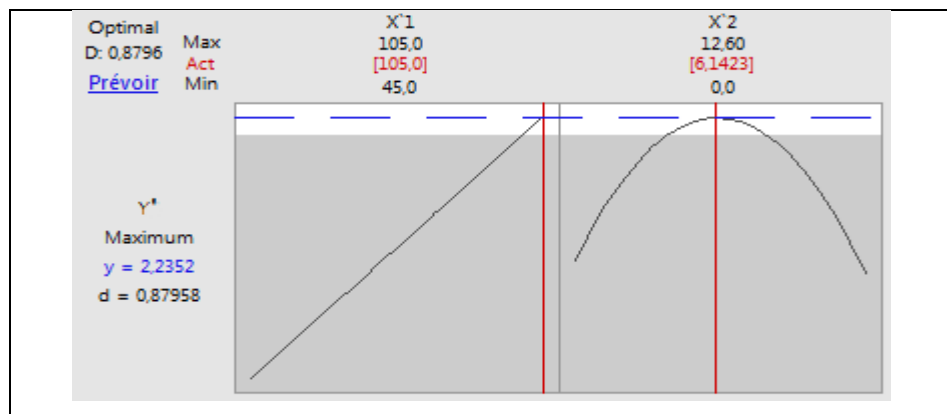


FIGURE 32 : Combinaison optimale (X'_1 et X'_2) pour un volume spécifique (V_{sp}) de la formule riz/fèverole maximal et la réponse Y' prévue.

Une expérience de vérification dans les conditions optimales a été réalisée. Les résultats ont été: $Y = 2,38 \pm 0,02 \text{ cm}^3 / \text{g}$, $Y' = 2,24 \pm 0,01 \text{ cm}^3 / \text{g}$ / ces volumes spécifiques ont été inférieurs à ceux du pain de blé dur témoin ($3,64 \pm 0,03 \text{ cm}^3 / \text{g}$). Le V_{sp} du *khobz Eddar* de FMF cuit pour la vérification est semblable avec la valeur prédite et le V_{sp} du *khobz Eddar* de FRF cuit pour la vérification a été un peu plus élevé que la valeur prédite, mais tombé dans l'intervalle de confiance. Ces volumes spécifiques ont été inférieurs à ceux du pain de blé dur témoin ($3,64 \pm 0,03 \text{ cm}^3 / \text{g}$).

En utilisant la technique de test d'hypothèse, les différences entre les réponses des modèles et de l'expérience de la vérification ne pas être significatif au niveau de 5%.

Conclusion

Il est évident que le volume spécifique du pain de blé dur témoin est supérieure à celle du pain khobz Eddar sans gluten à base de FMF ou à base de FRF avec ou sans améliorant.

Les résultats de cette étude ont été confirmés que le remplacement de la semoule de Maïs par la farine de Maïs prégelatinisé dans la FMF et le remplacement de la semoule de Riz par la farine de Riz prégelatinisé dans la FRF améliore le volume spécifique du pain *khobz Eddar* sans gluten.

Le facteur d'eau a un effet linéaire positif sur le volume spécifique et le facteur farine FP a un effet quadratique négatif sur le volume spécifique pour les deux formules du *khobz Eddar* sans gluten.

Dans la présente étude, il est suggéré que la formulation optimale de PMF a été $X_1=115\text{ml}$ d'eau et $X_2=8,83\text{g}$ de FP maïs et la formulation optimale de PRF a été $X_1=105\text{ml}$ d'eau et $X_2=4,58\text{g}$ de FP riz.

7.TRAITEMENT D'IMAGE

7.1.Caractéristiques des alvéoles de la mie des trois pains *khobz Eddar*

La texture de pain est un paramètre de qualité important, il pourrait souvent être considéré comme un facteur essentiel pour l'acceptation de pain (KORUS *et al.*, 2015). Le nombre et la taille des alvéoles ont un effet remarquable sur les propriétés rhéologiques de la pâte.

Les caractéristiques des alvéoles de la mie des trois pains *khobz Eddar* obtenus à partir de l'analyse d'images numérisées sont présentées dans le Tableau 41

Type de <i>Khobz Eddar</i>	Nombre des alvéoles	Surface moyenne des alvéoles (mm ²)	pourcentage de la zone des alvéoles (%)	circularité
Témoin	112	0,92±2,71	25,95	0,72±0,25
FMF optimum	278	0,13±0,31	11,30	0,83±0,21
FRF optimum	241	0,18±0,45	9,63	0,81±0,24

FMF : Formule maïs/féverole, FRF : Formule riz /féverole.

Selon ce Tableau 41, le nombre total des alvéoles de pain témoin (112) est inférieur à celles des *khobz Eddar* FMF (278) et FRF (241), alors que la surface moyenne des alvéoles (0,13±0,31 mm² pour FMF et 0,18±0,45 mm² pour (FRF) et le pourcentage de la zone des alvéoles des *khobz Eddar* sans gluten sont inférieurs à celle de *khobz Eddar* témoin.

Ces résultats sont compatibles avec les résultats de BERTA *et al.*, (2015) où le nombre total de bulles est diminué et la surface moyenne des alvéoles et le pourcentage de la zone des alvéoles augmente.

L'effet des deux farines pré-gélatinisées (maïs, riz) sur les caractéristiques des alvéoles de la mie est semblable. L'addition de FP augmente le nombre des alvéoles mais diminue leur surface moyenne (Tableau 41). D'après ces résultats, il semble que l'addition de FP facilite la formation des alvéoles lors du pétrissage (Amidon pré-gélatinisé est capable de former instantanément de nombreuses liaisons hydrogènes avec de l'eau), mais inhibe la croissance de ces bulles pendant la fermentation, et / ou ne pas permettre la rétention de gaz pendant la cuisson. Donc l'addition de FP augmente la viscosité du mélange et ralentit la diffusion de gaz, cela rend la croissance des bulles de petite taille difficile.

La diminution de pourcentage de la zone des alvéoles (ratio alvéoles /surface totale) de la mie des deux formules peut être associée à la diminution du V_{sp} des pains *khobz Eddar* sans gluten (RUBEL *et al.*, 2015).

7.2. Forme des alvéoles

En règle générale, le degré d'allongement de la cellule est une mesure de la force de la pâte et une mesure directe de la texture moelleuse du pain (HOSENEY, 1994). L'arrondi est un indice de la forme circulaire avec une valeur idéale de 1 pour une forme circulaire idéale.

TABLEAU 42 : Facteur de forme des bulles (% des cellules totale)^a

Type de <i>Khobz Eddar</i>	0,00 < <i>Sh</i> ≤ 0,20	0,20 < <i>Sh</i> ≤ 0,50	0,50 < <i>Sh</i> ≤ 0,80	0,80 < <i>Sh</i> ≤ 1,00	Total (%)
Témoin	7,75	36,20	13,79	42,24	100
FMF	0	14,23	27,00	58,75	100
FRF	4,08	15,51	22,44	57,95	100

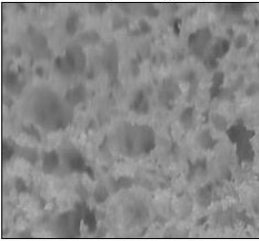
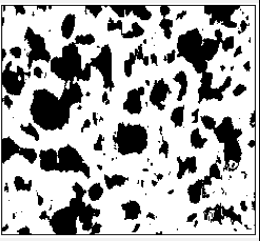
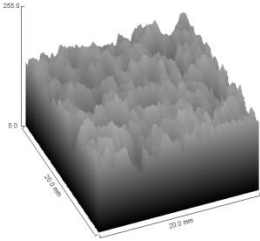

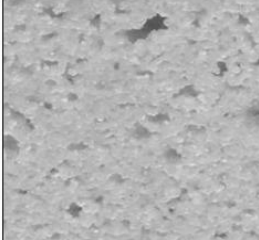
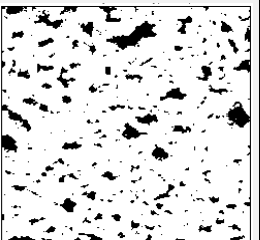
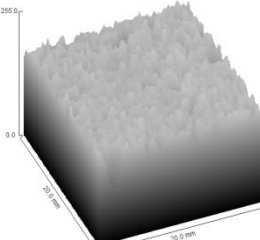

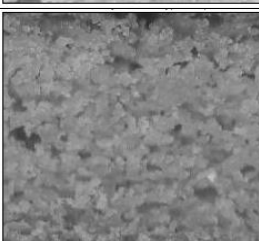
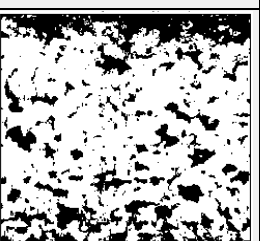
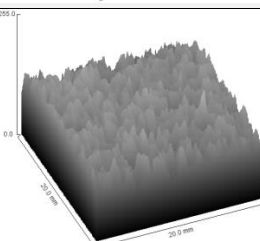

a: 0 = ligne , 1,00 = cercle, *Sh*= facteur forme (shape).

Les alvéoles de la mie du *khobz Eddar* témoin étaient plus ouvertes (Tableau 43). Les résultats d'analyse de facteur de forme sont présentés dans le Tableau 42. On a observé que les alvéoles de facteur de forme de 0,80 à 1,00 représentent la proportion la plus élevée chez les deux pains sans gluten (58,75 pour FMF et 57,95 pour FRF) avec une moyenne de circularité de 0,83 ±0,21 pour FMF et de 0,81±0,24 pour FRF (Tableau 41).

Lorsqu'on analyse le facteur de forme de pain témoin, on a observé que le facteur de forme de 0,80 à 1,00 représentent la proportion la plus élevée (42,24%), tandis que de 0,20 à 0,50 représente 36,20% avec une moyenne de circularité de 0,72±0,25 (Tableau 41).

Les alvéoles de forme ronde sont la plus élevées pour *khobz Eddar* sans gluten (FMF et FRF) alors les alvéoles allongées sont plus élevées dans le pain témoin (Tableau 43).

TABLEAU 43 :Images de la mie des pain *khobz Eddar* (Témoin, FMF et FRF)

Type de pain	Image gris (20x20 mm ²)	Image binaire (20x20 mm ²)	Courbe de surface	Image microscopique (x40)
Témoin				
FMF				
FRF				

FMF: Formule maïs /fèverole, **FRF :** Formule riz /fèverole

7.3. Distribution de la taille des alvéoles

Les valeurs obtenues pour la distribution de la taille des bulles des trois pains sont présentés dans les Figures (33, 34, 35).

La taille des alvéoles est variée de 0,007 mm² à 20,211 mm² pour le pain témoin (Figure 33), de 0,007 mm² à 3,60 mm² pour le pain FMF (Figure 34) et de 0,007 mm² à 2,741 mm² pour le pain FRF (Figure 35). Les figures montrent également que la mie des trois pains est formée principalement par des très petites alvéoles (0,007 mm²), elles représentent la plus grande proportion, 89,70% pour le pain témoin, 80,14% pour le pain FMF et 84,89% pour le pain FRF du total des alvéoles détectées. Les alvéoles avec des plus petites tailles ont été observées pour le pain FMF et les surfaces des bulles > 3,7 mm² ont été détectées seulement pour le pain témoin.

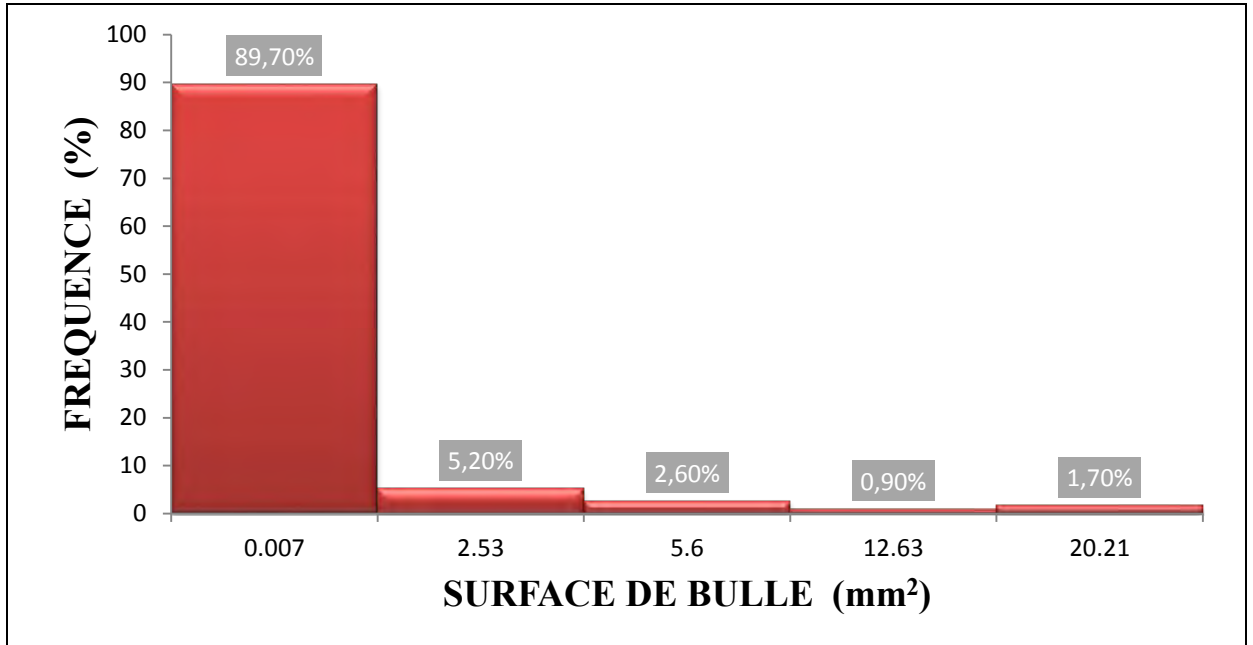


FIGURE 33 : Fréquences de la distribution de taille des bulles du pain témoin

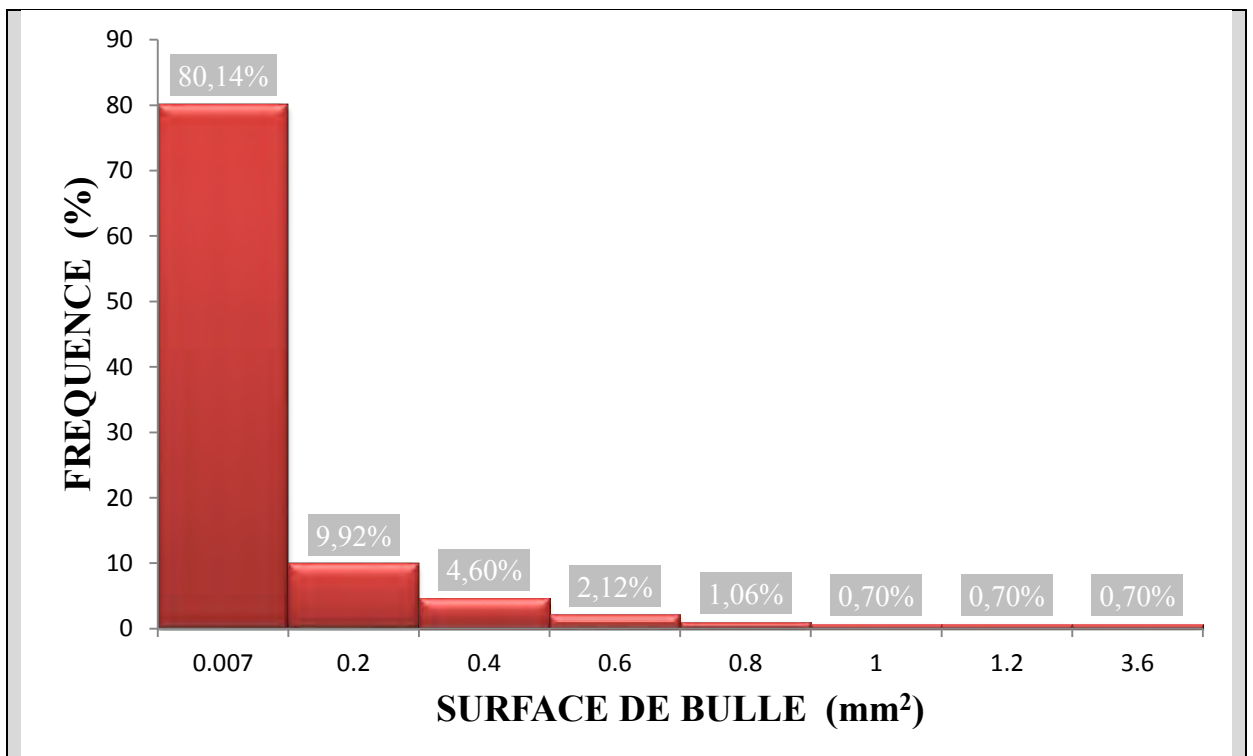
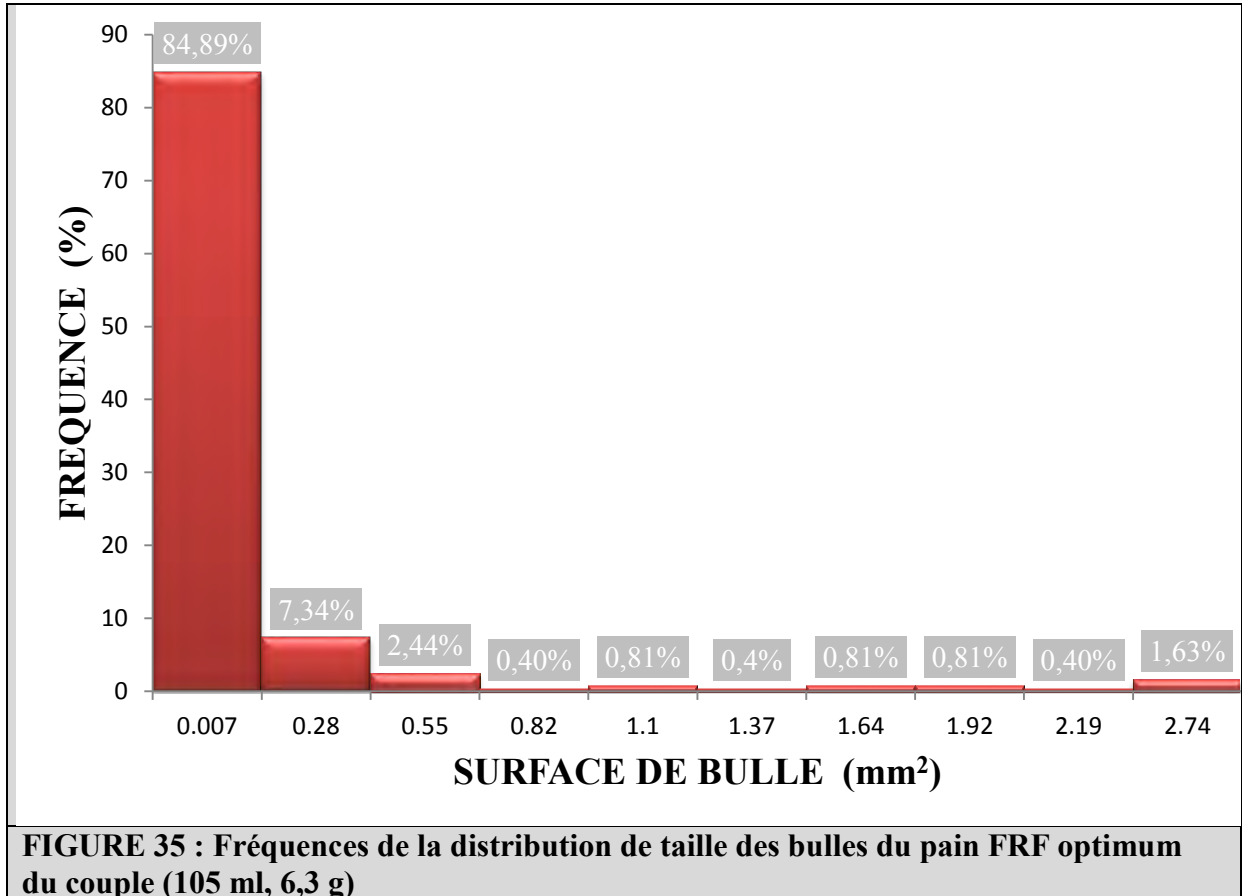


FIGURE 34: Fréquences de la distribution de taille des bulles du pain FMF optimum du couple (115 ml, 7,05 g)



Conclusion

Imagerie et l'analyse d'images du pain est une méthodologie important qui aura autant plus utilisation à l'avenir comme de nouvelles applications apparaissent.

La méthode d'analyse d'images proposée dans la présente étude a permis de déterminer le nombre des alvéoles, la taille moyenne des alvéoles, le % de la zone des alvéoles, la forme des alvéoles ainsi que la distribution de taille des alvéoles.

L'addition de la farine pré-gélatinisée augmente le nombre des alvéoles de FMF et FRM par comparaison avec le pain témoin mais diminue leurs tailles moyennes.

8. CARACTERISTIQUES SENSORIELLES DES PAINS

8.1. Test de préférence

Les résultats du test de classement ont été consignés dans le Tableau 44. La somme des rangs des pains, obtenus pour les 10 panelistes au cours du test de classement, allait de 10 à 42.

TABLEAU 44: Résultat du test de préférence

Dégustateur	Echantillons				
	A	B	C	D	E
1	1	3	4	2	5
2	1	5	3	4	2
3	1	3	5	2	4
4	1	5	4	2	3
5	1	5	3	4	2
6	1	3	5	2	4
7	1	3	5	2	4
8	1	3	5	4	2
9	1	5	4	2	3
10	1	5	4	3	2
Total classement	10	40	42	27	31
Classement	1	4	5	2	3

A : *khobz Eddar* de blé dur (témoin), **B** : *khobz Eddar* de FMF à 0g de farine pré-gélatinisé maïs, **C** : *khobz Eddar* de FRF à 0g de farine pré-gélatinisé riz, **D** : *khobz Eddar* de FMF optimisé ($X_1= 115$, $X_2= 7,05g$), **E** : *khobz Eddar* de FRF optimisé ($X'_1= 105$ ml, $X'_2= 6,30$ g).

Le test de classification permet de mettre en évidence les différences existant entre les échantillons. La valeur critique calculée pour $p \leq 0,05$, (10 dégustateurs et 05 échantillons) est de 20 d'après le Tableau (ANNEXE 6).

Le calcul de la statistique F de *Friedman* pour chaque descripteur montre une différence significative entre le pain témoin de blé dur (échantillons A) et les pains sans gluten de la FMF hors domaine optimum (échantillon B) et entre le pain témoin et le pain sans gluten de la FRF hors domaine optimum (échantillon C), ainsi qu'une différence significative entre le pain témoin et le pain de la FRF avec améliorant (échantillon E), pour le reste des échantillons on marque une absence de différence significative, on note une absence de différence entre le pain témoin et le pain de la formule MF avec améliorant (échantillon D). Il s'avère que la différence entre les échantillons est significative, c'est-à-dire ≥ 20 .

Le test de classification par rang de *Friedman* a permis de classer les pains sans gluten de la FMF issue de domaine optimum en première position après le témoin de blé tendre suivi par les pains de la FRF issue du domaine optimum, et en dernière position les pains de la FMF sans améliorant suivi par les pains de la FRF sans améliorant.

8.2. Test hédonique

A travers les notes attribuées aux différents descripteurs, nous avons tracé le profil sensoriel des cinq échantillons de pains fabriqués pour la vérification de notre optimisation.

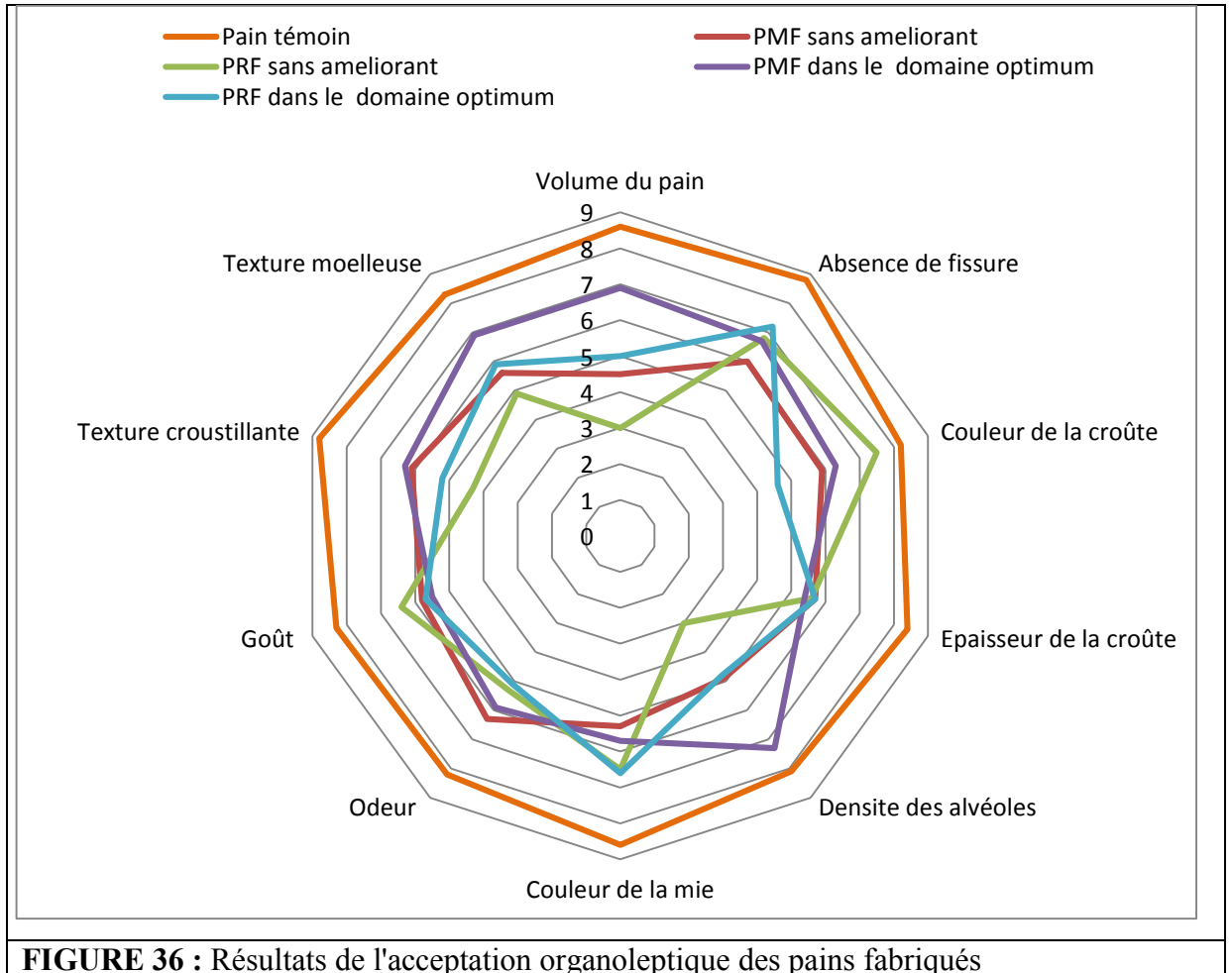


FIGURE 36 : Résultats de l'acceptation organoleptique des pains fabriqués

PMF : pain maïs fêverole ; PRF : pain riz fêverole.

Les résultats de l'évaluation sensorielle des pains fabriqués sont représentés sur la Figure 36

Volume du *khobz Eddar*

Les volumes du PMF et PRF avec dans le domaine optimum sont plus acceptables par rapport au pain témoin, mais dans ce cas, l'acceptabilité observée au niveau de PMF avec améliorant était beaucoup plus élevée que le PRF avec améliorant.

Couleur

Le pain témoin présente une couleur plus foncée que les pains sans gluten, le PRF sans améliorant a une couleur de la croûte plus foncée par rapport au PRF avec l'améliorant. Par contre le PMF avec améliorant a une couleur de la croûte plus foncée par rapport au PMF sans

l'améliorant. La couleur de la croûte de PRF sans améliorant était beaucoup plus acceptable en comparaison avec les autres pains sans gluten. Pour la couleur de la mie, les pains RF avec ou sans améliorant présentent la même couleur selon le panel et ils sont plus acceptable en comparaison avec le témoin, mais le pain témoin reste avoir la couleur de la croûte et de la mie la plus foncée. Donc l'ajout de FP n'a pas une influence sur la couleur de PMF et PRF

Épaisseur de la croûte

Aucune différence n'est observée entre les pains sans gluten concernant l'épaisseur de la croûte des deux formules, comparé à celle de pain témoin qui a l'épaisseur de la croûte le plus remarquable.

Densité des alvéoles

Il y a une différence observée entre les pains sans gluten, le PSG avec améliorant a donné une porosité plus développée par rapport au PSG sans améliorant, qui reste inférieur à celle du pain témoin. Il n'y a pas une différence observée entre la porosité du PRF avec améliorant et le PMF sans améliorant. L'addition du FP maïs et du FP riz au *khobz Eddar* sans gluten eu une influence positive sur la porosité du pain sans gluten.

Odeur

L'attribut « odeur » est moins intense pour les pains sans gluten soit avec, ou sans améliorant par rapport au témoin de blé. Odeur était plus acceptable pour les PMF avec ou sans améliorant que pour le PRF.

Texture

Aucune différence observée n'est notée entre la texture (absence de fissure) de notre pain sans gluten dans le domaine optimum et le témoin blé. PMF avec améliorant est le plus acceptable en termes de leur texture (Croustillante, moelleux).

Goût

Aucune différence n'est observé entre les PSG avec et sans améliorant à propos des goûts, et ils sont resté moins intense par rapport au pain témoin.

Conclusion

Le test de préférence et le test hédonique ont permis de classer les pains khobz Eddar sans gluten de FMF issue du domaine optimum correspond au couple (hydratation, FP maïs) ($X_1 = 115,00\text{ml}$, $X_2 = 7,05\text{g}$), en deuxième position après le témoin de blé dur et le pain sans gluten de FRF issue du domaine optimum correspond au couple (hydratation, FP riz) ($X'_1 = 105\text{ ml}$, $X'_2 = 6,30\text{ g}$) en 3^{ème} position, et en dernière position les pains de la FMF sans améliorant suivi par les pains de la FRF sans améliorant.

Résultats et discussion

Donc l'ajout de farine pré-gélatinisée n'a pas une influence sur la couleur de la mie de khobz Eddar PMF et PRF et il a une influence positive sur la porosité du pain sans gluten dans le domaine optimum. Odeur était plus acceptable pour les PMF avec ou sans améliorant que pour le PRF mais moins intense que le témoin blé bur.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusions générale et perspectives

Ce travail avait pour objectif de la formulation et la fabrication de pains levés type *khobz Eddar* sans gluten à base de la Formule Maïs-Féverole (FMF), et la Formule Riz-Féverole (FRF) amélioré par du maïs ou du riz pré-gélatinisés, destiné à l'alimentation des malades cœliaques algériens.

D'après les résultats de sondage, le pain *khobz Eddar* est fabriqué à base de la semoule de blé dur additionnée de sel, levure, huile, eau, œuf et grain de sésame et nigelle. La fabrication du *khobz Eddar* comprend les étapes suivantes : Mélange manuelle des ingrédients secs, pétrissage, fermentation, cuisson, démoulage et refroidissement.

Le calcul basé sur le rapport massique 2/1 utilisé pour la supplémentation de la formule montre une majoration de l'apport protéique de 16,80% pour FMF et de 16,56% pour FRF, en rapport avec la présence de la féverole dans celles-ci.

Les semoules utilisées présentent une granulométrie inférieure à 500 µm est répondent bien aux exigences de la panification. Pour les farines destinées à la fabrication de la Farine Prégélatinisé (FP), les fractions fines sont observées pour la farine de maïs. La semoule de blé dur présente des caractéristiques alvéographiques qui répondent aux exigences de la panification.

L'indice de solubilité dans l'eau (WSI) de la farine de maïs est supérieur à celui de la farine de riz, alors que l'indice d'absorption d'eau (WAI) indique que la farine de riz absorbe significativement plus d'eau ($p < 0,05$).

Lors de cette étude, nous avons optimisé le volume spécifique du pain *khobz Eddar* sans gluten par la méthode des surfaces de réponse. Nous avons trouvé une combinaison optimale du couple (hydratation-farine pré-gélatinisé), qui nous permet d'améliorer l'expansion gazeuse d'un pain traditionnel algérienne *khobz Eddar* sans gluten.

Cette combinaison qui est de 115 ml d'eau et 7,05g FP maïs avec un volume spécifique de $V_{sp} = 2,39 \pm 0,02 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour FMF et de 105 ml d'eau et 6,3g FP riz avec un volume spécifique de $V_{sp} = 2,24 \pm 0,01 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour FRF, nous a permis d'avoir des pain *khobz Eddar* sans gluten avec des V_{sp} inférieurs de celui du témoin de blé dur ($3,64 \pm 0,03 \text{ cm}^3/\text{g}$) du couple (55ml, 0g) et supérieurs à celles des pains *khobz Eddar* FMF ou FRF sans gluten à 0 g de FP.

Conclusions générale et perspectives

Après optimisation, les réponses prévues sont $Y = 2,38 \pm 0,02 \text{ cm}^3/\text{g}$ avec une désirabilité de $d = 0,94$ et $Y' = 2,23 \pm 0,01 \text{ cm}^3/\text{g}$ avec une désirabilité de $d = 0,87$.

Les alvéoles des pains témoin, FMF et FRF ont une forme ronde. FP maïs ou riz augmente le nombre des alvéoles de FMF et FRM par comparaison avec le pain témoin où le nombre des alvéoles du pain de blé dur est inférieur à celle des pains sans gluten.

Le test de préférence ont permis de classer le pain *khobz Eddar* sans gluten de la FMF optimum (hydratation, FP maïs) (115 ml, 7,05g) en deuxième position après le témoin *Khobz Eddar* de blé dur (55ml, 0g) puis vient l'optimum de la FRF (105 ml, 6,3g). Le test hédonique montre qu'il y'a une différence significative entre les descripteurs du pain de blé dur et les pains sans gluten ($p < 0,05$). Les différences entre FMF optimum et FRF optimum semblent plus importantes pour le volume, la texture moelleuse, texture croustillante et la densité des alvéoles que pour le reste des descripteurs.

La production de pain *khobz Eddar* sans gluten en utilisant un améliorant naturel, farine pré-gélatinisée, comme substitut de gluten a présenté une contribution considérable à l'amélioration de volume spécifique qui était proche à ceux de pain de blé dur.

Plusieurs pistes de travail, pourraient être proposées comme perspectives et compléments à ce travail, permettant d'apporter plus de précisions à divers points qui n'ont pas pu être entrepris dans ce travail :

- Amélioration du processus de fabrication de pain *khobz Eddar* sans gluten en se basant sur le processus de fabrication ;
- Remplacement du volume d'eau utilisé pour la préparation de la farine pré-gélatinisée par du lait ;
- Tester la farine pré-gélatinisée sous forme de poudre ;
- Tester la semoule pré-gélatinisée au lieu de la farine pré-gélatinisée pour la préparation du pain sans gluten *khobz Eddar* ;
- Tester l'effet de la farine pré-gélatinisée sur d'autres produits sans gluten ;
- Tester l'effet de l'association d'autres ingrédients naturels avec la farine pré-gélatinisée ;
- Préparer les farines pré-gélatinisées avec d'autres rapports farine : eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. AFNOR., Normes : NF V 03-707 (juin 1989), NF V 03-720 (décembre 1981), NF V 03-050 (septembre 1970), In recueil des normes françaises, contrôle de la qualité des produits alimentaires, Céréales et produits céréaliers, AFNOR/DGCCRF, 3ème édition, Paris, 1991 :360p.
2. AGUILAR N., ALBANELL E., MIÑARRO B., CAPELLAS CHICKPEA M., TIGER ., Nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread, *LWT - Food Science and Technology*, 62,1, 2015 : 225-232.
3. AIT-SLIMANE-AIT-KAKI S., Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie, Université Badji Mokhtar Annaba, Faculté des Sciences Département de Biologie, Doctorat en Sciences, Option, Biologie végétale et Amélioration des Plantes, 2007-2008.
4. AL-DMOOR H. M., Flat bread : ingredients and fortification, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 4,1, 2012 : 2-8.
5. AMR A., A preliminary study of Arab Middle Eastern breads with reference to Jordan. (In Arabic) *Dirasat*, 15,10, 1988 :81-98.
6. ANDERSON R., CONWAY H., PHEISER V., GRIFFIN E., Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, *Cereal Sci Today*, 14, 1969:4 -12.
7. ANONYMOUS, Maize - Determination of moisture content (using ground seeds and whole kernels), AFNOR Method NF V03-708, AFNOR, Paris, 1976:12p.
8. AOAC., Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 15 th Ed, Washington, D.C, 1990.
9. ARAKI E., IKEDA T. M., ASHIDA K., TAKATA K., YANAKA M., IIDA S., Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten, *Food science and technology research*, 15,4, 2009 : 439-448.
10. ARESE P., DE FLORA A., Pathophysiology of hemolysis in glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency, In *Seminars in hematology*, Elsevier, 27, 1, 1990 :1-40.
11. ASHIM K., DATTA A., SERPIL SAHIN B., GULUM SUMNU B. S., OZGE KESKIN B., Porous media characterization of breads baked using novel heating modes, *Journal of Food Engineering*, 79, 2007 : 106-116.
12. AUZIAS D., LABOURDETTE J.P., Alger 2010-11, Collectif, Petit Futé, 2009 : 256p.
13. BAEK M., YOO B., LIM S., Effects of sugars and sugar alcohols on thermal transition and cold stability of corn starch gel, *Food Hydrocoll*, 18, 2004:133-142.
14. BAI J. C., FRIED M., CORAZZA G. R., SCHUPPAN D., FARTHING M., CATASSI GONVERS J. J., Maladie coeliaque, World Gastroenterology Organisation, 2012 : 27p.
15. BAKER J.C., MIZE M.D., The origin of the gas cell in bread dough, *Cereal Chemistry*, 18, 1941: 19-34.
16. BAKS T., NGENE I. S., VAN SOEST J. J., JANSSEN A. E., BOOM R. M., Comparison of methods to determine the degree of gelatinisation for both high and low starch concentrations, *Carbohydrate polymers*, 67,4, 2007: 481-490.
17. BASMAN A., KO'KSEL H., NG P.K.W., *Eur. Food Res. Technol*, 215, 2002 : 419 p.
18. BATAIS F., RICHARD C., LEDUC V., Les allergènes du grain de blé, *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, 47, 2007 : 171-174.

Références bibliographiques

19. BAUER W.J., BADOUD R., LÖLIGER J., Science et technologie des aliments : Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés, PPUR Presses polytechniques, 2010 :720p.
20. BELLIR N., BELLIR M. N., ROUABAH L., Etude de l'effet de *Nigella sativa* sur les manifestations cliniques de la maladie cœliaque de l'adulte, *International Journal*, 3,1, 2015 : 880-893.
21. BENATALLAH L., ZIDOUNE M. N., MICHON C., Optimization of HPMC and Water Addition for a Gluten-Free Formula with Rice and Field Bean Based on Rheological Properties of Doughs, *International Review of Chemical Engineering-Rapid Communications*, 4, 5, 2012.
22. BENBELKACEM A., SADLI F., BRINIS L. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie, *In Durum wheat quality in the Mediterranean*, DI FONZO N., KAAAN F., NACHIT M., CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n 22,1995 : 61-65.
23. BENKADRI S., Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants cœliaques : fabrication de farines-biscuits sans gluten, Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, 2010 :79p+annexes.
24. BERRAH M., BENHASSINE F., CHAOUI N., Actualités sur la maladie cœliaque de l'enfant, Société Algérienne de Pédiatrie, 2000.
25. BERTA M., GMOSE R., KRONA A., STADING M., Effect of viscoelasticity on foam development in zein–starch dough, *LWT-Food Science and Technology*, 2015.
26. BLOKSMA A.H., Rheological Aspects of Structural Changes during Baking, *In Chemistry and Physics of Baking Materials, processes and products*, BLANSHARD J., FRAZIER M V., GALLIARD T., Royal Society of Chemistry, Londres, 1986: 170-178p.
27. BLOKSMA A. H., Rheology of the bread making process, *Cereal Foods World*, 35,1990: 228-236.
28. BOGGINI G., PAGANI M A., LUCISANO M., Qualità panificatoria di miscele di sfarinati difrumento duro con farina di tenero, *Tecnica Molitoria*, 48, 1997 : 781-791.
29. BORGHI B. M., CORBELLINI C. MINOIA M., PALUMBO N., DI FONZO M., PERENZIN., Effects of Mediterranean climate on wheat breadmaking quality, *Eur J Agron*, 6, 1997: 145-154.
30. BOUASLA A., Prévalence de la maladie cœliaque à Constantine (1996-2008) et diététique associée auprès des patients de l'EHS Sidi Mabrouk de Constantine (2009), Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, INATAA, 2011 :79p+annexes.
31. BOUDREAU A., MENARD G., Le Blé: éléments fondamentaux et transformation, Presses Université Laval, 1992.
32. BOURSIER B., LEROUX P., Gluten-free cooking products, *Patent Application,U.S.*, 14/376,218, 2013.
33. BOYACIOGLU M. H., D'APPOLONIA B. L., Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flour and durum wheat flours, *Cereal Chem*, 71, 1994 :21-28.

Références bibliographiques

34. BOYE J., ZARE F., PLETCH A., Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed, *Food Research International*, 43, 2, 2010:414-431.
35. BROCHOIRE G., Le pain et le sel, un enjeu de santé publique, *NAFAS*, 1, 1, 2003.
36. BROOKER B. E., The Role of Fat in the Stabilisation of Gas Cells in Bread Dough, *Journal of Cereal Science*, 24, 1996 : 187-198.
37. BRYANT R. J., KADAN R. S., CHAMPAGNE E. T., VINYARD B. T., BOYKIN D., Functional and digestive characteristics of extruded rice flour, *Cereal Chemistry*, 78, 2, 2001 : 131-137.
38. BURE J., La chimie du blé. La pâte de farine de froment, S.E.P.A.I.C, 1980 :149p.
39. CAUVAIN S. P., Breadmaking an overview, *Breadmaking Improving Quality*, CRC Press, 8, 28, 2003: 500 p.
40. CHARBONNIER L., JOS J., MOUGENOT J. F., MOSSE J., DEMARTEAU C., SALLANTIN M., HUET J., Toxicité comparée de différentes céréales pour les sujets intolérants au gluten, *Reproduction Nutrition Développement*, 20(4B), 1980 : 1369-1377.
41. CHERIET G., Etude de la galette : différents types, recettes et mode de fabrication. Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2000.
42. CHILLO S., LAVERSE J., FALCONE P.M., DEL NOBILE M.A., Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chickpea. *J. Food Eng.* 84, 2008:101-107.
43. CRISTELE-ICARD V., De la semoule du blé dur aux pâtes alimentaires : évènements physiques et biochimiques, *Industries Agricoles et Alimentaires*, 117, 2000 : 35-43.
44. CHYDERIOTIS G., CLAUDEL E., FABIEN N., LUCAS C., MUSSET L., OLSSON N.O., PHAM B. N., Maladie cœliaque : la place des autoanticorps dans le diagnostic et le suivi, *European Autoimmunity Standardization Initiative (EASI)*, France, 2008 :8p.
45. CIAFFI M., TOZZI L., BORGHI B., CORBELLINI M., LAFIANDRA D., Effect of heat shock during grain filling on gluten protein composition of bread wheat, *Journal of Cereal Science*, 24, 1996 : 91-100.
46. CLEMENT B. J., LEBRETON C., MALAMUT G., CERF-BENSUSSAN N., Perméabilité intestinale et maladie cœliaque, *Médecine des Maladies Métaboliques*, 9,1, 2015 : 19-26.
47. CLERICI M. T. P. S., AIROLDI C., EL-DASH A. A., Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread, *LWT-Food Science and Technology*, 42, 2, 2009: 618-623.
48. CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, Proposed draft standard for rice. *FAO Food Standards Programme CX/CPL/90/5*. Rome, FAO, 1990: 8.
49. COLONNA P., TAYEB J., MERCIER C., Extrusion cooking of starch and starchy products. In : *Extrusion-Cooking*, eds Mercier C., Linko P. & Harper J.M, AACC, St Paul, 1989 : 247-319.
50. CORNEJO F., ROSELL C. M., Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality, *Journal of Food Science and Technology*, 2015b : 1-8.

Références bibliographiques

51. CORNEJO F., ROSELL C. M., Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality, *LWT-Food Science and Technology*, 62, 2, 2015 a : 1203-1210.
52. CREPON K., MARGET P., PEYRONNET C., CARROUEE B., ARESE P., DUC G., Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food, *Field Crops Research*, 115, 3, 2010 : 329-339.
53. CROWLEY P., GRAU H., ARENDT E. K., Influence of additives and mixing time on crumb grain characteristics of wheat bread, *Cereal Chemistry*, 77,3, 2000 : 370-375.
54. D'EGIDIO M.G., MARIANI B.M., NARDI S., NOVARO P., CUBADDA R., Chemical and technological variables and their relationships, a predictive equation for pasta cooking quality, *Cereal Chemistry*, 67, 3, 1990 : 275-281.
55. DAGHER M.S., Traditional foods in the Near East, *FAO, Food Nutr*, 50, 1991:161.
56. DAKIA P., WATHELET B., PAQUOT M., Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ, *Food Chemistry*, 102,4, 2007 : 1368-1374.
57. DANIELS D.G.H., FISHER N., Release of carbon dioxide from dough during baking, *Journal of Science and Food Agriculture*, 27, 1976 : 351-357.
58. DATTA A K., SAHIN S., SUMNU G., Porous media characterization of breads baked using novel heating modes, *Journal of Food Engineering*, 79, 2007 : 106 -116.
59. DE LA HERA E., RE TALEGON M., CABALLERO P., GOMEZ M., Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2013: 924-932.
60. DE MAN W., CHARTRON S., *Le riz, cette céréale méconnue*, Cahiers de nutrition et de diététique : 2015.
61. DE REYNAL B., *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires*, 4e ed., Lavoisier, 2009 : 736 p.
62. DEBITON C., Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II), 2010.
63. DELCOURT A.L., LEFIEF L., *Pains et brioches irrésistibles: 80 recettes faciles et gourmandes avec ou sans machine à pain*, Leduc.s Éditions, 2013.
64. DELLA VALLE G., COLONNA P., LOURDIN D., Texturation des produits céréaliers & rôle du sucre au cours de la cuisson : interactions avec les autres constituants, *Qualité des produits de cuisson céréaliers*, 11ème colloque Alliance7-CEDUS, Paris, 2003 :13p.
65. DEXTER J.E., MATSUO R.R., Changes in semolina proteins during spaghetti processing. *Cereal Chem*, n° 54, 1977: 882 - 894.
66. DIB A., Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé, Mémoire de magister en Sciences Alimentaires, I.N.A.T.A.A, Université Constantine, 2013 : 100p + annexes.
67. DONG W., HOSENEY R. C., Effect of certain breadmaking oxidants and reducing agents on dough rheological properties. *Cereal Chem*, 72, 1, 1995:58-64.

Références bibliographiques

68. DONOVAN J. W., Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymes*, 18, 1979: 263-275.
69. DORE C., VAROQUAUX F., Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, Editions Quae, 2006 : 812 p.
70. DREESE P.C., FAUBION J.M., HOSENEY R.C., The effect of different heating and washing procedures on the dynamic rheological properties of wheat gluten.
71. *Cereal Food World*, 33, 1988 : 225-228.
72. DUCAUZE C., Chimie analytique, analyse chimique et chimiométrie : Concepts, démarche et méthodes, Lavoisier, 2014:366 p.
73. EFFERSON J. N., Rice quality in world markets, In Grain quality and marketing. Paper presented at the International Rice Research Conference, 1985:74 p.
74. ELIASSON AC., LUNDH G., Rheological and inter facial behavior of some wheat protein fractions, *Food and Nutrition JTS* 20, 1989: 431-441.
75. EYOUM A., CELHAY F., NERON S., EL AMRANI F., POIFFAIT A., POTUS J., BARET J.L., NICOLAS J., Biochemical factors of importance in the oxygen consumption of unyeasted wheat flours during dough mixing. In Recent Advances in Enzymes in Grain Processing. Courtin M., Veraverbeke W. S. et Delcour J., eds., Faculty of agricultural and applied biological sciences. Leuven, Belgium, 2003 : 303-309.
76. F.A.O., Le maïs dans la nutrition humaine, *Food & Agriculture Org*, 1993 : 174 p.
77. F.A.O., Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, CODEX STAN 178-1991, Rév. 1-1995, 1995 b: 4 p.
78. FARDET A., Fonctionnalité des aliments céréaliers : approches holistique & réductionniste, 2015 :22p.
79. FAUBION J. M., HOSENEY R. C., The viscoelastic properties of wheat flour doughs. In Dough rheology and baked product texture (pp. 29-66). Springer US. In Dough Rheology and Baked Product Texture, FARIDI H, Faubion, J. M., 1990 : 605p.
80. FEILLET P., Le grain de blé, composition et utilisation, Paris, 2000: 303 p.
81. FITZGERALD M. A., REINKE R. F., Rice grain quality III, A report for the rural industries research and development corporation, RIRDC Publication, (06/056), 2006.
82. FRANCONIE H., CHASTANET M., SIGAUT F., (DIR.), Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde, Paris, Karthala, KARTHALA Editions, 2010 : 477p.
83. FRIC P., GABROVSKA D., NEVORAL J., Celiac disease, gluten- free diet, and oats. *Nutrition Reviews*, 69, 2011:107- 115.
84. GAALOUL I., RIABI S., GHORBEL R. E., Implementation of ISO 22000 in cereal food industry “SMID” in Tunisia, *Food Control*, 22,1, 2011 : 59-66.
85. GALLAGHER E., MCCARTHY D., GORMLEY T. R., ARENDT E. K., Novel ingredients in optimising gluten-free bread acceptability, In Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers : Proceedings of the 12th International ICC Cereal and Bread Congress, 24e26th May 2004, Harrogate, UK, Cambridge, UK : Woodhead, 2005 :355-362.

Références bibliographiques

86. GAN Z., ELLIS P. R., SCHOFIELD J. D., Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough, *Journal of Cereal Science*, 21, 3, 1995 : 215-230.
87. GARNIER C., *Ma bible de l'alimentation sans gluten : Le guide le plus complet pour allier plaisir et santé !*, Leduc.s Éditions, 2014 : 480p.
88. GHERAIRIA S., *Pain sans gluten pour malades cœliaques : aptitude technologique d'une formule riz-féverole*, Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, INATAA, 2011 :87p +annexes.
89. GOCMEN D., INKAYA A. N., AYDIN E., Flat breads. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15, 4, 2009: 298-306.
90. GODON B., POPINEAU Y., DUCAROUGE F., Différences d'hydrophobicité de surface des gliadines de deux variétés de blé dur de bonne et de mauvaise qualité. *Agronomie*, 1, 2, 1981 : 77-82.
91. GORDILLO E.D.M., *El Garbanzo: Una alternativa para el secano*, Mundi-Prensa, Madrid, Spain, 1991, 134p.
92. GRAVELAND A., BOSVELD P., LICHTENDONK W. J., MARSEILLE J. P., MOONEN J. H. E., SCHEEPSTRA A., A model for the molecular structure of the glutenins from wheat flour, *Journal of cereal science*, 3,1,1985:1-16.
93. HAMAKER BRUCE R., *Technology of Functional Cereal Products*, Woodhead Publishing Limited, 2008.
94. HAMAKER BRUCE R., *Technology of Functional Cereal Products*, Woodhead Publishing Limited, 2008.
95. HAN H., CHO J., KANG H., KOH B., Rice varieties in relation to rice
96. bread quality, *J Sci Food Agric*, 92, 2012:1462-1467.
97. HAN S. H., PARK S. J., LEE S. W., RHEE C., Effects of Particle Size and Gelatinization of Job's Tears Powder on the Instant Properties, *Journal of Food Science and Nutrition*, 15,1, 2010 : 67-73.
98. HARALICK R. M., SHANMUGAM K., DINSTEN I. H., Textural features for image classification, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 6, 1973 :610-621.
99. HEBRARD A., *Agglomération de la semoule de blé dur en couscous* (Doctoral dissertation, Montpellier, ENSA, 2002 : 245 p.
100. HERBERTH S., *Hefe und mehr: Lieblingsbrote selbstgebacken*. BoD - Books, 2013.
101. HIDALGO A., ROSSI M., CLERICI F RATTI S., A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems, *Food Chemistry*, 106, 2008 : 1031-1038.
102. HOSENEY R. C., FINNEY K. F., POMERANZ, Y., Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. VI. Gliadin-lipid-glutenin interaction in wheat gluten, *Cereal Chem*, 47,2, 1970: 135-140.
103. HOSENEY R. C., *Yeast leavened products : Principles of Cereal Science and Technology*, 2nd ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minnesota, USA, 1994 :229-273.
104. HOUBEN A., HOCHSTOTTER A., BECKER T., *Eur. Food Res. Technol*, 235, 2012 : 195p.

Références bibliographiques

105. HSU S., LU S., HUANG C., Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. *Journal Of Food Science*, Chicago, 65,2, 2000 : 215-220.
106. I.S.I., *Hand book of Food Analysis*, Part XIII, 1984 : 62p.
107. ICARD C., FEILLET P., Effets des phénomènes d'oxydoréduction au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. *Cahier Scientifiques. Ind. Alim. Agr*, 114, 1996 : 5 -17.
108. ILAIYARAJA N., KHANUM F., NIGELLA SATIVA L: a review of therapeutic applications. *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*,4, 2, 2010:1-8.
109. ITCF., ONIC., *Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique*, 1995 : 268 p.
110. iwashita K., suzuKi K., miyashita K., oKunishi T., Effects of Rice Properties on Bread Made from Cooked Rice and Wheat Flour Blend, *Food Sci, Technol. Res*, 17, 2, 2011:121–128.
111. JONES S.M., MAGNOLFI C.F., COOKE S.K., SAMPSON H.A., Immunologic cross-reactivity among cereal grains and grasses in children with food hypersensitivity, *J Allergy Clin Immunol*, 1995 :341-51.
112. JORA (*Journal Officiel de la République Algérienne*), *Collections Statistiques n° 692*, 1991.
113. JULIANO B. O., *Le riz dans la nutrition humaine*, Food & Agriculture Org, 26, 1994.
114. JULIANO B.O., *Chemistry and Technology*, ed. Rice : 2nd ed. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. Cereal Chem, 1985 : 774.
115. KAYSI Y., MELCION J. P., *Traitements technologiques des protéagineux pour le monogastrique : exemples d'application à la graine de féverole*, INRA *Productions animales*, 5, 1,1992 : 3-17.
116. KAYSI Y., *Méthode d'évaluation de deux traitements de mise en forme des aliments des animaux : cuisson-extrusion et agglomération. Application à la graine de féverole décortiquée*. Thèse Doctorat Université de Nantes, 1991 : 160 p.
117. KEIK I., KEITARO S., KANAE M., TOMOYA O., Effects of Rice Properties on Bread Made from Cooked Rice and Wheat Flour Blend, *Food Sci. Technol. Res.*, 17, 2, 2011 :121-128.
118. KEZIH R., BEKHOUCHE F., MERAZKA A., Some traditional Algerian products from durum wheat. *African Journal of Food Science*, 8,1, 2014 : 30-34.
119. KHAN K., BUSHUK W., Studies of glutenin XIII, Gel filtration isoelectric focusing, and amino acid composition studies, *Cereal chem*, 56, 1979 : 505-512.
120. KIGER J. L., KIGER J. G., LEY G., *Techniques modernes de la biscuiterie : pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime*, Dunod, 1968 :595p.
121. KIM K., SETSER C.S., Foaming properties of fresh and commercially dried eggs in the presence of stabilizers and surfactants. *Poultry Science*, 61, 11, 1982: 2194-2199.
122. KITISSOU P., *Un nouveau paramètre alvéographique : l'indice d'élasticité*. *Industries des céréales*, 1995 : 9-17.
123. KORUS J., WITCZAK M., ZIOBRO R., JUSZCZAK L., The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the

Références bibliographiques

- bread, *European Food Research and Technology*, 240,6, 2015 : 1135-1143.
124. KULP K., Bread industry and processes. In : Pomeranz, Y. (Ed.), *Wheat, Chemistry and Technology*, third ed., vol. 2. AACC International, St. Paul, MN, USA, 1988 : 371-406.
125. LAIGNELET B., Lipids in pasta and pasta processing. In "lipids in cereal technology". Barnes P.J. Ed., Academic Press, London, 1983: 269 - 286.
126. LANGRAF F., Produits et procédés de panification, F 6 180, *Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, 2002 : 12p.
127. LASSOUED N., Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. *Sciences Alimentaires. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, France*, 2005 :163.
128. LI J.Y., YEH A. I., Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches, *Journal of Food Engineering*, 50, 3, 2001 : 141-148.
129. LICCIARDELLO F., RIZZO V., GRILLO O., VENORA G., MURATORE G., Bread-making performances of durum wheat semolina, as affected by ageing, *Journal of Cereal Science*, 57,3, 2013 : 372-376.
130. MAC RITCHIE F., Physicochemical Processes in Mixing, In: *Chemistry and Physics of Baking*, T. R. S. o. Chemistry, London, 1986: 132-146.
131. MACARULLA M T., MEDINA C., DIEGO M A N D., CHAVARRI M., ZULET M., MARTÍNEZ J A., PORTILLO M P., Effects of the whole seed and a protein isolate of faba bean (*Vicia faba*) on the cholesterol metabolism of hypercholesterolaemic rats, *British Journal of Nutrition*, 85, 5, 2001: 607-614.
132. MADANI M., 2009 : qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticale) C/S du laboratoire de technologie de l'ITGC. 20p.
133. MAHMOUD R. M., YOUSIF E. I., GADALLAH M.G.E., ALAWNEH A.R., Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread, *Annals of Agricultural Science*, 58,1, 2013 :19-25.
134. MALAMUT G., CELLIER C., Maladie cœliaque, *La Revue de médecine interne*, 31, 6, 2010 : 428-433.
135. MATOS M. E., SANZ T., ROSELL C. M., Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 2014 : 150 -158.
136. MATUCHANSKY C., ROUSSEAU S., MORIN M., Maladie cœliaque de l'adulte : actualités du régime sans gluten, *Feuillets de biologie*, 46, 264, 2005: 49-54.
137. MAZOUZ L., Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* des f.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Faculté des Sciences, Université El Hadj Lakhdar Batna, Algérie*, 2006 : 66p +annexe.
138. MCCORMICK K.M., PANOZZO J.F., HONG S.H., A swelling power test for selecting potential noodle quality wheats, *Aust J Agric Res*, 42, 1991: 317-323.
139. MCGEE H., *On food and cooking : the science and lore of the kitchen*, Simon and Schuster, New York, 2007 : 896 p.

Références bibliographiques

140. MENARD G., EMOND S., BOLDUC R., MARCOUX D., BOUDREAU A., La pâtisserie industrielle. In : Le blé - Eléments fondamentaux et transformation. Boudreau, A. and Menard, G. eds ., Les presses de l'Université de Laval, Sainte-Foy, 1992 : 349-390.
141. MICARD V., BROSSARD C., CHAMP M., CRENON I., JOURDHEUIL-RAHMANI D., MINIER C., PETITOT M., Aliment mixte «blé dur-légumineuse» : influence de la structuration de leurs constituants sur leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques, Cahiers de Nutrition et de Diététique, 45, 5, 2010 : 237- 245.
142. MIÑARRO VIVAS B., CAPELLAS PUIG M., ALBANELL TRULLAS E., Development of gluten-free bread formulations, Universitat Autònoma de Barcelona, *Departament de Ciència Animal idels Aliments*, 2013:131p.
143. MOORE M. M., SCHOBER T. J., DOCKERY P., ARENDT E K., Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads, Cereal Chemistry, 81, 5, 2004:567-575.
144. Moore W.R., Hoseney R.C., The leavening of bread dough, Cereal Foods World, 30, 1985:791-792.
145. MORTIMER M. P., Maghrebien mosaic: a literature in transition. Lynne Rienner Publishers, 2001: 325 p.
146. MOULE C., Les plantes sarclées et diverses, Phytotechnie spéciale, Maison Rustique, paris, Tome III, 1972, 130p.
147. MOUTERDE O., HARIZ M. B., DUMANT C., Le nouveau visage de la maladie cœliaque. Archives de pédiatrie, 15,5, 2008 : 501-503.
148. MURATOVA V.S., Common Beans (*Vicia faba* L). Bull Appl Bot. Genet Plant Breed, Leningrad, supplement, 50, 1931 : 298p.
149. NAZCO R., PEÑA R J., AMMAR K., VILLEGAS D., CROSSA J., MORAGUES M., ROYO C., Variability in glutenin subunit composition of Mediterranean durum wheat germplasm and its relationship with gluten strength, *The Journal of agricultural science*, 152, 3, 2014: 379-393.
150. NELSON A L., High Fiber Ingredients. St. Paul, MN: Egan Press, 2001.
151. NEUKOM H., Chemistry and properties of the non-strachy polysaccharides (NSP) of wheat flour. LWT Lebensmitt Wissensch Technol, 1976.
152. NICOLIE B., BERNIER B., DROUET M., Fait clinique Allergie au maïs, Revue française d'allergologie, Elsevier Masson, France, 49, 2009 : 547-553.
153. NORRIS J.M., BARRIGA E.J. K., HOFFENBERG TAKI I., MIAO D., HAAS J.E., EMERY L.M., SOKOL R.J., ERLICH H.A., EISENBARTH G.S., REWERS M., Risk of celiac disease autoimmunity and timing of gluten introduction in the diet of infants at increased risk of disease, JAMA, 293,19, 2005:2343-51.
154. NUTAN M., VAINGANKAR PUSHPA R., KULKARNI., Preliminary Observations on Cooking Quality Parameters as Indicators of Adulteration of Basmati Rice, J. Sci. Food Agric, 37, 1986:707-708.
155. O'SHEA N., RÖßLE C., ARENDT E., GALLAGHER E., Modelling the effects of orange pomace using response surface design for gluten-free bread baking, Food Chemistry, 166, 2015: 223-230.

Références bibliographiques

156. OSBORNE TB., The proteins of the wheat kernel, Carnegie Inst, Washington DC, 84, 1907.
157. PASCHAL JL., FRENCH BL., A method of economic analysis applied to nitrogen fertilizer rate experiments on irrigated corn, US Dept. of Agriculture, Vol. 1141, 1956:73p.
158. PERONI-OKITA F., CARDOSOM AGOPIAN R., LOURO R., NASCIMENTO J., PURGATTO E., TAVARES M., LOJOLO F., CORDENUNSI B., The cold storage of green bananas affects the starch degradation during ripening at higher temperature, Carbohydr Polym, 96, 2013:137-147.
159. PETRUS M. J., JESU G., COSSARIZZA A., TORREGROSA H., GARDES J.P., INGARAO G., DUTAU., Allergie à la farine de maïs. À propos d'une nouvelle observation chez un enfant de huit ans, Revue française d'allergologie, Elsevier Masson, France, 49, 2009 : 379-382.
160. POMERANZ Y., Chemical composition of kernel structures. Wheat : chemistry and technology, I, 1988 : 97-158.
161. PONGJARUVAT W., METHACANON P., SEETAPAN N., FUONGFUCHAT A., GAMONPILAS C., Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads, Food Hydrocolloids, 36, 2014 : 143-150.
162. POURFARZAD A., MOHEBBI M., MAZAHERI-TEHRANI M., Interrelationship between image, dough and Barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. International Journal of Food Science & Technology, 47,7, 2012 : 1354-1360.
163. QAROONI J., Flat breads. In Flat Bread Technology, Springer US, 1996,: 67-119, 208p.
164. QAROONI J., WOOTTON M., MCMASTER G., Factors affecting the quality of Middle East bread : additional ingredients, Journal of the Science of Food and Agriculture, 48,1989 :235-244.
165. QUAGLIA G.B., Other durum wheat products. In : Durum : Chemistry and Technology, G Fabriani and C Lintas, eds. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN., 1988 : 263-282.
166. RAFFO A., PASQUALONE A., SINESIO F., PAOLETTI F., QUAGLIA G., SIMEONE R., Influence of durum wheat cultivar on the sensory profile and staling rate of Altamura bread. European Food Research and Technology, 218,1, 2003 : 49-55.
167. REMESY C., LEENHARDT F., FARDET A., Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive, Cahiers de Nutrition et de Diététique, 50,1, 2015: 39-46.
168. ROCHA PARRA A. F., RIBOTTA P.D., FERRERO C., Apple pomace in gluten-free formulations : effect on rheology and product quality, International Journal of Food Science & Technology, 50, 3, 2015 :682-690.
169. ROUSSEL P., CHIRON H., DELLA VALLE G., NDIAYE, A., Recueil de connaissances sur les descripteurs de qualité des pâtes et des pains ou variables d'état pour la panification française, Glossaire terminologique appliqué aux pains français, (2010).

Références bibliographiques

170. ROUSSEL P., CHIRON H., DELLA VALLE G., NDIAYE A., Recueil de connaissances sur les descripteurs de qualité des pâtes et des pains ou variables d'état pour la panification française. Glossaire terminologique appliqué aux pains français, 2010.
171. ROUSSEL P., CHIRON H., Les pains français : évolution, qualité, production. Maë-Erti. France, 2005 :433p.
172. ROY F., BOYE J.I., SIMPSON B.K., Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil, *Food Research International*,43,2, 2010 : 432-442.
173. RUBEL I. A., PEREZ E. E., MANRIQUE G.D., GENOVESE D. B., Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality, *Food Structure*, 3, 2015: 21-29.
174. RUBENTHALER G. L., FARIDI H. A., Laboratory dough molder for flat breads Middle-Eastern style, *Cereal Chemistry*, 59, 1982 : 72-73.
175. SALT L.J., WILDE P.J., GEORGET D., WELLNER N., SKEGGS P.K., MILLS E.N.C., Composition and surface properties of dough liquor. *Journal of Cereal Science*, 43, 3, 2006 : 284-292.
176. SAMIR S, A study of the relationship between starch gelatinization and staling of Arabic bread, University Of Jordan, 2002.
177. SANCHEZ M. P., VERDU E. F., GORDILLO M. C., BAI J. C., BIRCH S., MOAYYEDI P., BERCIK P., Les déductions d'impôt applicables au régime sans gluten au Canada comparées aux couvertures offertes dans divers pays. *Canadian Journal of Gastroenterology & Hepatology*, 29, 2, 2015 : 104-110.
178. SANDIFORD C.P., TATHAM A.S., FIDO R., WELCH J.A., JONES M.G., TEE R.D., SHEWRY P.R., NEWMAN TAYLOR A.J., Identification of the major water/salt insoluble wheat proteins involved in cereal hypersensitivity, *Clinical & Experimental Allergy*, 27,10, 1997 :1120-1129.
179. SAPIRSTEIN H.D., DAVID P., PRESTON K.R., DEXTER J.E., Durum wheat bread making quality : Effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time, *Journal of Cereal Science*, 45, 2007 : 150-161
180. SAULNIER L., Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles, *Cahiers de nutrition et diététique*, 47, 2012 : S4-S15.
181. SCHMITZ J., Le régime sans gluten chez l'enfant, *Pathol Biol*, Paris, 2011 :5p.
182. SCHNEIDER A., HUYGHE C., Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires, Editions Quae, 2015.
183. SCHOENLECHNER R., MANDALA I., KISKINI A., KOSTAROPOULOS A., BERGHOFER E., Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth. *International journal of food science & technology*, 45,4, 2010 : 661-669.
184. SCIARINI L. S., PEREZ G. T., DE LAMBALLERIE M., LEON A. E., RIBOTTA P. D.,. Partial-baking process on gluten-free bread: impact of hydrocolloid addition, *Food and Bioprocess Technology*, 5, 5, 2012:1724-1732.
185. SHEWRY P. R., HALFORD N. G., Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization, *Journal of Experimental Botany*, 53, 370, 2002 :947-958.

Références bibliographiques

186. SHEWRY P. R., TATHAM A. S., FORDE J., KREISS M., MIFLIN B. J., "The classification and nomenclature of wheat gluten proteins : a reassessment." *Journal of Cereal Science* 4,1986 : 97-106.
187. SHIBATA M., SUGIYAMA J., TSAI C. L., TSUTA M., FUJITA K., KOKAWA M., ARAKI T., Evaluation of viscoelastic properties and air-bubble structure of bread containing gelatinized rice, *Procedia Food Science*, 1, 2011 : 563-567.
188. SHOMBA KINYAMBA S., *Méthodologie de la recherche scientifique*, éd. MES, Kinshasa RDC, 2006.
189. SIRET C., *Structure des aliments, F1012, Techniques de l'Ingénieur*, 2004 :21p.
190. SISSONS M., Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*, 2,2, 2008 :75-90.
191. SIVARAMAKRISHNAN H. B., SENGE. B., CHATTOPADHYAY B.K., *J. Food Eng*, 62, 2004 : 37.
192. SOBRINI FJ., SANTIDRIAN S., LARRALDE J., Nutritive value and effect of tannin content of *Vicia faba equina* and minor seeds on the rate of growth in growing rats, *FABIS Newsletter*, (1982).
193. SOILLE P., *Morphological image analysis : principles and applications*, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, New York, 2003 : 391p.
194. SOLAYMANI-DODARAN M., WEST J., LOGAN R. F., Long-term mortality in people with celiac disease diagnosed in childhood compared with adulthood: a population-based cohort study. *The American journal of gastroenterology*, 102, 4, 2007 : 864-870.
195. STAUFFER C.E., Chemical leavening, dans : *Cookie chemistry and technology*, K.Kulped, American Institute of baking, Manhattan, Kansas, USA, 1993 : 149-166.
196. STENE L.C., HONEYMAN M.C., HOFFENBERG E.J., HAAS J.E., SOKOL R.J., EMERY L., TAKI I., NORRIS J.M., ERLICH H.A., EISENBARTH G.S., REWERS M., Rotavirus infection frequency and risk of celiac disease autoimmunity in early childhood: a longitudinal study, *Am J Gastroenterol*, 101,10, 2006:2333-40.
197. SURGET A., BARRON C., *Histologie du grain de blé. Industrie des céréales*, N°145, 2005.
198. TANG H., WATANABE K., MITSUNAGA T., Structure and functionality of large, medium and small granule starches in normal and waxy barley endosperms, *Carbohydrate Polymers*, 49, 2, 2002 : 217-224.
199. TONEY J., BERGQUIST D. H., Functional egg products for the cereal foods industries. *Cereal Foods World*, 28, 1983: 445-447.
200. TRONCONE R., AURICCHIO S., Gluten-sensitive enteropathy (celiac disease). *Food Reviews International*, 7, 2, 1991 : 205-231.
201. UPADHYAY R., GHOSAL D., MEHRA A., Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109,1, 2012 : 104-113.

Références bibliographiques

202. VAN DE KAMER J.H., WEIJERS H.A., DICKE W.K., Coeliac disease. IV. An investigation into the injurious constituents of wheat in connection with their action on patients with celiac disease. *Acta Paediatr*, 42,1953 : 223-31.
203. VERDU S., IVORRA E., SANCHEZ A. J., BARAT J. M., GRAU R., Relationship between fermentation behavior, measured with a 3D vision Structured Light technique, and the internal structure of bread, *Journal of Food Engineering*, 146, 2015 : 227-233.
204. VERON M., La panification et ses composantes techniques. In *Annales des falsifications, de l'expertise chimique et toxicologique*, Société des experts-chimistes de France, 93, 951, 2000 : 241-252.
205. WANG P.X., UEBERSCHÄR K.H., The estimation of vicine, convicine and condensed tannins in 22 varieties of fababeans (*Vicia faba* L.). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 31, 1990 : 157-165.
206. WATSON S. A., RAMSTAD P. E., Structure and composition. Corn : chemistry and technology, StPaul, Minn, Etats-Unis, Am.Assoc, Cereal Chem, 1987 : 53-82.
207. WIWART M., SUCHOWILSKA E., LAJSZNER W., GRABAN Ł., Identification of hybrids of spelt and wheat and their parental forms using shape and color descriptors, *Computers and electronics in agriculture*, 83, 2012 : 68-76.
208. WÖESE K., LANGE D., BOTSS C., BOGL K. W., A comparison of organically and conventionally grown foods-results of a review of the relevant literature. *Journal of the science of food and agriculture*, 74, 3, 1997 : 281-293.
209. YADAV V. K., SUPRIYA P., Value Addition in Maize, In *Maize : Nutrition Dynamics and Novel Uses* (pp. 141-152), Springer India, D. P. Chaudhary, Sandeep Kumar, O. P. Yadav, 2014 : 161 p.
210. YAGCI S., GÖGÜS F., Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86,1, 2008 : 122-132.
211. YU-WEN K.O., Effects of different addition proportion and ripening condition of boiled sponge dough on the qualities of bread, *L'université catholique Fu-Jen, Faculté des Sciences Appliquées*, 2004 : 126p.
212. YVONNE C., 65°C Bread doctor, Orange culture Ltd, 2007.
213. ZOBEL H. F., YOUNG S. N., ROCCA L. A., A Starch Gelatinization: an X-ray diffraction study, *Cereal Chem*, 65, 1988: 443-446.

ANNEXES

I - POPULATION

I. السكان

السكان المقيمين من الأسر الاعادية والجماعية حسب البلدية الإقامة والجنس ومعدل النمو السنوي (1998-2008)

**Population résidente des ménages ordinaires et collectifs (MOC)
selon la commune de résidence et le sexe et le taux d'accroissement annuel moyen
(1998-2008)**

Communes	الذكور	الإناث	المجموع	معدل النمو	البلدية
	Masculin	Féminin	Total	Taux d'accroissement	
Constantine	222753	225621	448374	-0,7	قسنطينة
Hamma Bouziane	40791	39161	79952	3,3	حامة بوزيان
Ibn Badis	9577	9158	18735	3,1	الهرية
Zighout Youcef	17885	17363	35248	1,3	زيغود يوسف
Didouche Mourad	22828	22123	44951	3,1	ديدوش مراد
El Khroub	89596	89437	179033	7,3	الخروب
Ain Abid	15983	15760	31743	2,1	عين عبيد
Beni Hamiden	4766	4631	9397	1,4	بنى حميدان
Ouled Rahmoune	13327	12805	26132	2,5	أولاد رحمون
Ain Smara	18616	18383	36998	4,3	عين سمارة
Messaoud Boujeriou	4702	4348	9050	1,3	مسعود بوجريو
Ibn Ziad	9438	9423	18861	2,0	ابن زياد
Total	470 262	468 213	938 475	1,5	المجموع

**FICHE DE SONDAGE SUR LE DIAGRAMME DE FABRICATION DU
KHOBZ EDDAR TRADITIONNEL**

I. Identification

Numéro : _____ Age : _____

Secteur : _____

II. Fabrication

1. Connaissez-vous *khobz eddar* : Oui Non

2. Les différentes appellations que vous connaissez :.....

3. Comment procurez-vous *khobz eddar* ? : Achat Fabrication à la maison

4. Ingrédients utilisés en fabrication : Semoule Farine Levure
Huile Sel Eau Autres :.....

5. Utilisation des œufs : Comme ingrédient Pour enduisage
Type de semoule choisi: Supérieur Normale Peu importe

Pourquoi ? :.....

6. Proportions d'ingrédients pour 1 pain : Semoule.....Farine.....

Levure.....Huile.....Sel.....Eau.....

Autres.....

III. Etapes de fabrication :

1. Pétrissage : Nombre.....Durée

Manuel Avec machine

2. Fermentation : Nombre..... Température.....Durée.....

3. Cuisson : Température.....Durée.....

Four électrique Four à gaz

4. Moules : Grand Moyen Petit

IV. Diagramme de fabrication ? (en détail).....

Table – Particle shape parameter values used in the strategy of shape identification

Shape	RAR	RTY	FMR
Circle	1.000–1.000	0.750–0.889	1.009–1.144
Triangle	0.115–0.991	0.110–0.517	1.295–1.351
Rectangle-straight	0.100–0.900	1.000–1.000	0.891–1.192
Rectangle-inclined	0.100–0.900	0.170–0.750	0.895–1.195
Ellipse-straight	0.102–0.900	0.780–0.788	0.999–1.007
Ellipse-inclined	0.102–0.900	0.160–0.780	1.002–1.010
Square-straight	1.000–1.000	1.000–1.000	1.253–1.253
Square-inclined	0.970–1.000	0.500–0.879	1.235–1.262

RAR: reciprocal aspect ratio (Eq. (1)); RTY: rectangularity (Eq. (2)); FMR: feret major axis ratio (Eq. (3)).

$$\text{reciprocal aspect ratio, } RAR = \frac{b}{a} \quad (1)$$

$$\text{rectangularity, } RTY = \frac{A_{ef}}{H_b W_b} \quad (2)$$

$$\text{feret major axis ratio, } FMR = \frac{D_f}{a} \quad (3)$$

FICHE DE TEST HEDONIQUE

NOM :

PRENOM :

DATE :

- Veuillez examiner et goûter chaque échantillon du pain, et donnez une note de 0 à 9 selon l'intensité du caractère.

		125	210	430	620	502
Etat extérieur du pain	Couleur de la croûte					
	Epaisseur de la Croûte					
	Volume					
	Absence de fissure					
	Texture croustillante					
Etat intérieur du pain	Couleur de la mie					
	Densité des alvéoles					
	Texture moelleuse					
	Odeur					
	Goût					

FICHE DE TEST DE CLASSEMENT

- Veuillez classer les quatre échantillons par ordre de préférence.

Code	Classement
125	_____
210	_____
430	_____
620	_____
502	_____

Annexe 5(a)
Analyse de la regression de la formule SMF

Régression de la surface de réponse : Y en fonction de X1; X2

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modèle	5	0,460281	0,092056	7,13	0,011
Linéaire	2	0,355794	0,177897	13,78	0,004
X1	1	0,326185	0,326185	25,27	0,002
X2	1	0,029608	0,029608	2,29	0,174
Carré	2	0,102887	0,051444	3,99	0,070
X1*X1	1	0,007518	0,007518	0,58	0,470
X2*X2	1	0,100801	0,100801	7,81	0,027
Interaction à 2 facteurs	1	0,001600	0,001600	0,12	0,735
X1*X2	1	0,001600	0,001600	0,12	0,735
Erreur	7	0,090349	0,012907		
Inadéquation de l'ajustement	3	0,083669	0,027890	16,70	0,010
Erreur pure	4	0,006680	0,001670		
Total	12	0,550631			

Récapitulatif du modèle

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
0,113609	83,59%	71,87%	0,00%

Coefficients codés

Terme	Effet	Coeff	Coef ErT	Valeur de T	Valeur de p	FIV
Constante		2,1120	0,0508	41,57	0,000	
X1	0,5711	0,2856	0,0568	5,03	0,002	1,00
X2	0,1721	0,0860	0,0568	1,51	0,174	1,00
X1*X1	-0,1315	-0,0657	0,0861	-0,76	0,470	1,02
X2*X2	-0,4815	-0,2408	0,0861	-2,79	0,027	1,02
X1*X2	0,080	0,040	0,114	0,35	0,735	1,00

Equation de régression en unités non codées

$$Y = 0,706 + 0,0183 X1 + 0,0658 X2 - 0,000064 X1*X1 - 0,00484 X2*X2 + 0,000177 X1*X2$$

Annexe 5(b)
Analyse de la regression de la formule SRF

Régression de la surface de réponse : Y` en fonction de X`1; X`2

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modèle	5	0,459801	0,091960	6,47	0,015
Linéaire	2	0,273461	0,136731	9,61	0,010
X`1	1	0,272730	0,272730	19,17	0,003
X`2	1	0,000731	0,000731	0,05	0,827
Carré	2	0,162315	0,081157	5,71	0,034
X`1*X`1	1	0,002852	0,002852	0,20	0,668
X`2*X`2	1	0,162314	0,162314	11,41	0,012
Interaction à 2 facteurs	1	0,024025	0,024025	1,69	0,235
X`1*X`2	1	0,024025	0,024025	1,69	0,235
Erreur	7	0,099568	0,014224		
Inadéquation de l'ajustement	3	0,091688	0,030563	15,51	0,011
Erreur pure	4	0,007880	0,001970		
Total	12	0,559369			

Récapitulatif du modèle

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
0,119265	82,20%	69,49%	0,00%

Coefficients codés

Terme	Effet	Coeff	Coef ErT	Valeur de T	Valeur de p	FIV
Constante		1,9880	0,0533	37,27	0,000	
X`1	0,5222	0,2611	0,0596	4,38	0,003	1,00
X`2	-0,0270	-0,0135	0,0596	-0,23	0,827	1,00
X`1*X`1	-0,0810	-0,0405	0,0904	-0,45	0,668	1,02
X`2*X`2	-0,6110	-0,3055	0,0904	-3,38	0,012	1,02
X`1*X`2	-0,310	-0,155	0,119	-1,30	0,235	1,00

Equation de régression en unités non codées

$$Y` = 0,403 + 0,0206 X`1 + 0,1563 X`2 - 0,000045 X`1*X`1 - 0,00770 X`2*X`2 - 0,000820 X`1*X`2$$

TABLEAU : Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements» à un seuil de signification de 5 %

Dégustateurs	Nombre d'échantillons									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37
6	9	12	15	19	22	26	30	34	37	42
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	109
43	22	31	41	50	60	69	79	89	99	110
44	22	32	41	51	60	70	80	90	101	111
45	23	32	41	51	61	71	81	91	102	112
46	23	32	42	52	62	72	82	92	103	114
47	23	33	42	52	62	72	83	93	104	115
48	23	33	43	53	63	73	84	94	105	116
49	24	33	43	53	64	74	85	95	106	117
50	24	34	44	54	64	75	85	96	107	118
55	25	35	46	56	67	78	90	101	112	124
60	26	37	48	59	70	82	94	105	117	130
65	27	38	50	61	73	85	97	110	122	135
70	28	40	52	64	76	88	101	114	127	140
75	29	41	53	66	79	91	105	118	131	145
80	30	42	55	68	81	94	108	122	136	150
85	31	44	57	70	84	97	111	125	140	154
90	32	45	58	72	86	100	114	129	144	159
95	33	46	60	74	88	103	118	133	148	163
100	34	47	61	76	91	105	121	136	151	167

On se sert des valeurs exactes adaptées de Hollander et Wolfe (1973) jusqu'à 15 dégustateurs.

On peut se servir d'interpolation pour les valeurs de tableau non spécifiées faisant appel à plus de 50 dégustateurs.

Publications et communications



Les Journées Internationales de Biotechnologie (JIB2014) , 20-24 Décembre 2014 Yasmine Hammamet (Tunisie)

Comparaison de trois farines gélatinisées à base du riz, amidon et maïs utilisées dans l'amélioration de la fermentation d'un pain sans gluten levé traditionnel

**DJEGHIM Fairouz¹, BOUREKOUA Hayet², BENATALLAH Leila³, ZIDOUNE
Mohammed Nasreddine⁴**

^{1, 2, 3} : Laboratoire de la Nutrition et des Technologies Alimentaires (LNTA).

Equipe : Transformation et Elaboration des Produits alimentaires (TEPA).

⁴ : Chef d'équipe Transformation et Elaboration des Produits alimentaires (TEPA).

Institut de la Nutrition de l'Alimentation et des Technologies Agro-alimentaires

(I.N.A.T.A.A.) Université Constantine1 Algérie.

Adresse e-mail: fairouzdje@live.fr

Résumé :

La fermentation de la pâte est l'une des principales opérations dans la fabrication du pain. La levure *Saccharomyces cerevisiae* métabolise les sucres de la farine ou de la semoule en gaz carbonique qui diffuse vers les noyaux d'air intégré dans la pâte pendant le pétrissage, et lui permet de prendre du volume.

En Algérie, les femmes au foyer produisent de pain traditionnel de blé dur *Khobz eddar* (pain de maison). Lors de la fabrication de pain *Khobz eddar* sans gluten tout en substituant la semoule de blé par celle du riz ou du maïs, les cœliaques ont du mal à obtenir une pâte qui tienne et qui lève au cours de la fermentation en raison de l'absence de protéines du gluten.

Ce travail vise à améliorer la situation alimentaire des malades cœliaques par l'amélioration de l'expansion gazeuse d'un pain levé traditionnel à travers l'ajout de différentes farines à base du riz, amidon et maïs.

Des analyses technologiques et physico-chimiques ont été réalisées sur les différentes matières. Nous avons préparé trois variétés de pains: pain contenant du riz gélatinisé, pain contenant du maïs gélatinisé, et pain contenant de l'amidon gélatinisé. Le pain sans gluten est à base d'un mélange de semoule riz-féverole (2/1). La semoule riz-féverole a été substituée par du riz, du maïs, et d'amidon gélatinisés sur une base de poids sec (taux de substitution : 0, 5, 10, 20, 21%). Le volume spécifique des échantillons de pain a été calculé, des photos ont été prises et les pains sans gluten sont comparés entre eux et avec le témoin fait de blé dur.

Nos résultats indiquent que le volume du pain de maïs gélatinisé a un volume spécifique maximal de 1,98 cm³ / g avec un taux de substitution 20%, de même, le pain de riz gélatinisé a montré un volume spécifique de 1,96 cm³ / g avec un taux de remplacement 10%. Ces valeurs étaient plus élevées que celles obtenues avec pain d'amidon gélatinisé. Cette étude a démontré que l'addition de maïs gélatinisé à la pâte donne de meilleurs résultats sans addition d'agents supplémentaires (le gluten,...).

Mots clés: *Saccharomyces cerevisiae*, fermentation, farine gélatinisée, volume spécifique
Communication **affichée**

Effet de la température de conservation d'une farine gélatinisée et de l'huile sur le volume spécifique du pain traditionnel sans gluten

DJEGHIM Fairouz¹, BOUREKOUA Hayet², BENATALLAH Leila³, ZIDOUNE Mohammed Nasreddine⁴

^{1, 2, 3} : Laboratoire de la Nutrition et des Technologies Alimentaires (LNTA).

Equipe : Transformation et Elaboration des Produits alimentaires (TEPA).

⁴ : Chef d'équipe Transformation et Elaboration des Produits alimentaires (TEPA).

Institut de la Nutrition de l'Alimentation et des Technologies Agro-alimentaires

(I.N.A.T.A.A.) Université Constantine1 Algérie.

Adresse e-mail: fairouzdje@live.fr

Résumé :

En raison de leur qualité technologique et nutritionnelle, les produits céréaliers- en particulier les pains levés par *Saccharomyces cerevisiae* - sont des éléments de base du régime alimentaire dans de nombreux pays, bien que les patients atteints de la maladie cœliaque soient incapables de consommer du pain.

En Algérie, les femmes au foyer produisent de pain traditionnel de blé dur *Khobz eddar* (pain de maison). Lors de la fabrication de pain *Khobz eddar* sans gluten tout en substituant la semoule de blé par celle du riz ou du maïs, les cœliaques ont du mal à obtenir une pâte qui tienne et qui lève au cours de la fermentation en raison de l'absence de protéines du gluten.

Ce travail vise à améliorer la situation alimentaire des malades cœliaques par l'amélioration de l'expansion gazeuse d'un pain sans gluten levé traditionnel à travers l'ajout d'une farine gélatinisée à base du maïs.

Des analyses technologiques et physico-chimiques ont été réalisées sur les différentes matières premières. Le pain sans gluten est à base d'un mélange de semoule maïs-féverole (2/1). La semoule maïs-féverole a été substituée par maïs gélatinisé sur une base de poids sec avec un taux de substitution varie de 0 à 21 %. La farine gélatinisée a été utilisée après 1 h de leur préparation et après 24 h de leur conservation à 4°C. D'autre part, elle a été ajoutée à la semoule avant et après l'huile.

Le volume spécifique des échantillons de pain a été calculé, des photos ont été prises et les pains sans gluten sont comparés entre eux.

Nos résultats indiquent que l'ajout du maïs gélatinisé à la semoule maïs-féverole après 24 h de leur conservation à 4°C et avant l'ajout de l'huile donne de meilleurs résultats avec un volume spécifique maximal.

A l'issue de ce travail nous avons utilisé une farine gélatiniser à base du maïs pour fabriqué un pain sans gluten traditionnel pour malades cœliaques par ajout des améliorants naturels et qui donne des pains plus proche au témoin de blé dur.

Mots clés: pain traditionnel, farine gélatinisée, température, huile, volume spécifique.
Communication **affichée**

ملخص

ان الهدف الرئيسي لهذه المذكرة يتمثل في صناعة خبز مخمر من نوع "خبز الدار" دون غلوتين باستعمال تركيبة تتكون من الذرة-الفويلة (FMF) وتركيبية أخرى تتمثل في أرز-فويلة (FRF) محسنة بطحين الذرة أو أرز مجلتن. وقد أظهرت النتائج التي تحصلنا عليها بعد اجراء دراسة استقصائية لعينة تتكون من 50 امرأة تقطن بولاية قسنطينة، أن "خبز الدار" يتم صنعه بواسطة مزيج يتكون من سميد القمح الصلب يضاف اليه ملح، خميرة، زيت، ماء، بيضة، جلجلانية، حيث تبدأ العملية بخلط المكونات يدويا، تترك العجينة مدة 10 دقائق لتستريح، بعدها تعجن لمدة 15 دقيقة متواصلة، تشكل العجينة بعد ذلك وتترك 45 دقيقة لتتخمر، بعد انتهاء الطهي (30 دقيقة)، تأتي مرحلة التبريد.

خلال هذه الدراسة قمنا بدراسة الخصائص الفيزيوكيميائية للمادة الأولية، وقياس درجة صلابة سميد القمح الصلب بواسطة "ألفيوغراف شوبى"، وقد اعتمدنا على طريقة (MSR) لتحسين صناعة الخبز دون غلوتين. و قد استخدمنا أيضا طريقة (CCD) بعاملين هما: درجة التمييه، و طحين مجلتن، بالنسبة للحجم النوعي (Vsp)، حيث استخدمنا الكميات التالية: [51-115] مل ماء، و [0-14،10] غ من طحين الذرة المجلتن ل FMF، و 45 – 105 مل من الماء و [0-12،60] غ من طحين الأرز المجلتن ل FRF، أين تمت دراسة تأثيرات درجة تمييه الطحين المجلتن على الحجم النوعي "خبز الدار" دون غلوتين.

وقد تم تحديد النقاط المثلى عن طريق تحليل الصور والتحليل الحسي مقارنة مع عينة من خبز عادي مصنوع من القمح الصلب.

تشير النتائج الأولية التي تحصلنا عليها أن عامل الماء له تأثير خطي موجب، وتبين أن النقاط المثالية تتمثل في الثنائية (115 مل، 7,05 غ) بالنسبة ل FMF مع الحجم النوعي (سم³/غ = 0,02±2,39، $VSP=0,02±2,39$)، و الثنائية (105 مل، 6,3 غ) بالنسبة ل FRF مع الحجم النوعي (سم³/غ = 0,01±2,24، $VSP=0,01±2,24$)، كما أن نتائج الحجم النوعي المتحصل عليها أقل من نظيرتها في العينة العادية (سم³/غ = 0,03±3,64، $VSP=0,03±3,64$)، (55 مل، 0 غ) وأكبر من نتائج "خبز الدار" نوع FMF و FRF دون غلوتين مع 0 غ من FP (دون محسن).

وتثبت معالجة الصور المتحصل عليها أن عدد الفجوات الهوائية في FMF و FRF هو أكبر من "خبز الدار" المصنوع من القمح الصلب القاسي. ان فجوات الموجودة في (FMF، FRF، العينة العادية) لديها شكل دائري مع معامل الشكل قريب من 1.

وقد استطعنا أن نرتب خبز الدار دون غلوتين من نوع FMF في المرتبة الثانية بعد العينة الشاهدة، ليأتي بعد ذلك النوع FRF، في حين أثبت اختبار (Le test hédonique) وجود اختلاف بين الخبز دون غلوتين و "خبز الدار" المصنوع من القمح الصلب.

للقيام بالتحسينات المقترحة، نحتاج إلى إجراء تجارب إضافية، مثل: اختبار (Le test hédonique) لخبز الدار دون غلوتين، ماء، الذرة FP، أرز FP، حجم نوعي.

The main objective of this work was the formulation and manufacturing of leavened gluten free *Khobz Eddar* -by Corn Field bean Formula (FMF) and rice- field bean Formula (FRF) improved by corn or rice flour pregelatinised (FPM or RPF).

A survey by quota with a number of staff from 50 women in the city of Constantine is made. The survey results show that the bread *Khobz Eddar* is made from durum wheat semolina added salt, yeast, oil, water, egg and sesame and nigella grain. For the manufacture of *Khobz Eddar* women proceed as follows: Hand Mix dry ingredients, a rest time of 10 min the dough, a kneading 15min followed by molding, proofing (45 min), coking (30 min), cooling and demolding.

A physicochemical characterization of raw materials and rheology of durum wheat semolina by Chopin Alveograph is made. The Response Surface Method (RSM) is used for optimization of the gluten free bread. A central composite design (CCD) with two factors (hydration, pregelatinized flour) and five levels is constructed with the specific volume (V_{sp}) as the only answer. Intervals of water and FP quantities used are respectively [51-115] ml water and [0 to 14.10] g FP corn for FMF and [45-105] ml water and [0 to 12.60]g FP rice for FRF. The effects of hydration and the FP on (V_{sp}) of gluten free bread were studied. The optimum points are characterized by image analysis and sensory analysis and compared to a control bread durum.

The maxima of the two response surfaces correspond to the pairs (115 ml, 7,05g) for FMF with a $V_{sp} = 2.39 \pm 0.02 \text{ cm}^3 / \text{g}$ and (105 ml, 6.3 g) for FRF with a $V_{sp} = 2.24 \pm 0.01 \text{ cm}^3 / \text{g}$. Addition of FP improved the V_{sp} but they stay lower than control wheat one ($3.64 \pm 0.03 \text{ cm}^3 / \text{g}$).

The image processing shows that the number of the cells in FMF and FRF is greater than that of *Khobz Eddar* durum .The three loaves of cells (control, FMF and FRF) have a round shape with a form factor (Sh) close to 1.

The preference test allowed to classify optimal gluten-free *khobzeddar* FMF in second after the control wheat durum bread and followed by the the optimal FRF .The hedonic test showed that there is a significant difference between the gluten-free bread and bread *Khobz eddar* durum

Keywords : Optimization, gluten free *Khobz Eddar*, water, FP corn, FP rice, specific volume.

ان الهدف الرئيسي لهذه المذكرة يتمثل في صناعة خبز مخمر من نوع "خبز الدار" دون غلوتين باستعمال تركيبة تتكون من الذرة-الفويولة (FMF) وتركيبه أخرى تتمثل في أرز-فويولة (FRF) محسنة بطحين الذرة أو أرز مجلتن. وقد أظهرت النتائج التي تحصلنا عليها بعد اجراء دراسة استقصائية لعينة تتكون من 50 امرأة تقطن ببلدية قسنطينة، أن "خبز الدار" يتم صنعه بواسطة مزيج يتكون من سميد القمح الصلب يضاف اليه ملح، خميرة، زيت، ماء، بيضة، جلجلانية، حيث تبدأ العملية بخلط المكونات يدويا، تترك العجينة مدة 10 دقائق لتستريح، بعدها تعجن لمدة 15 دقيقة متواصلة، تشكل العجينة بعد ذلك وتترك 45 دقيقة لتتخمّر، بعد انتهاء الطهي (30 دقيقة)، تأتي مرحلة التبريد. خلال هذه الدراسة قمنا بدراسة الخصائص الفيزيوكيميائية للمادة الأولية، وبقياس درجة صلابة سميد القمح الصلب بواسطة "ألفيوغراف شوبي"، وقد اعتمدنا على طريقة (MSR) لتحسين صناعة الخبز دون غلوتين. و قد استخدمنا أيضا طريقة (CCD) بعاملين هما: درجة التمييه، و طحين مجلتن، بالنسبة للحجم النوعي (Vsp)، حيث استخدمنا الكميات التالية: [51-115] مل ماء، و [0-14،10] غ من طحين الذرة المجلتن ل FMF، و 45 – 105 مل من الماء و [0-12،60] غ من طحين الأرز المجلتن ل FRF، أين تمت دراسة تأثيرات درجة تمييه الطحين المجلتن على الحجم النوعي "لخبز الدار" دون غلوتين.

وقد تم تحديد النقاط المثلى عن طريق تحليل الصور والتحليل الحسي مقارنة مع عينة من خبز عادي مصنوع من القمح الصلب.

تشير النتائج أن النقاط المثالية تتمثل في الثنائية (115 مل، 7.05 غ) بالنسبة ل FMF مع الحجم النوعي (سم³/غ 2,39±0,0) ، و الثنائية (105 مل، 6.3 غ) بالنسبة ل FRF مع الحجم النوعي (سم³/غ 2,24±0,01) ، كما أن نتائج الحجم النوعي المتحصل عليها أقل من نظيرتها في العينة العادية (سم³/غ 3,64±0,03) ، (VSP=55 مل، 0 غ) وأكبر من نتائج "خبز الدار" نوع FMF و FRF دون غلوتين مع 0 غ من FP (دون محسن). وتثبت معالجة الصور المتحصل عليها أن عدد الفجوات الهوائية في FMF و FRF هو أكبر من "خبز الدار" المصنوع من القمح الصلب القاسي. ان فجوات الموجودة في (FMF، FRF، العينة العادية) لديها شكل دائري مع معامل الشكل قريب من 1.

وقد استطعنا أن نرتب خبز الدار دون غلوتين من نوع FMF في المرتبة الثانية بعد العينة الشاهدة، ليأتي بعد ذلك النوع FRF، في حين أثبت اختبار (Le test hédonique) وجود اختلاف بين الخبز دون غلوتين و "خبز الدار" المصنوع من القمح الصلب.

الكلمات المفتاحية: تحسين أمثل، خبز الدار دون غلوتين، ماء، الذرة FP، الأرز FP، حجم نوعي.

Résumé

L'objectif principal de ce travail était la formulation et la fabrication de pains levés type *khobz Eddar* sans gluten à base de la Formule Maïs-Féverole (FMF) et la Formule Riz-Féverole (FRF) amélioré par du Farine de Maïs ou du Riz Pré-gélatinisés (FPM ou FPR).

Un sondage par quota avec un nombre d'effectifs de 50 femmes au niveau de la commune de Constantine est effectué. Les résultats de sondage montrent que le pain *khobz Eddar* est fabriqué à partir de la semoule de blé dur additionnée de sel, levure, huile, eau, œuf et grain de sésame et nigelle. Pour la fabrication du *khobz Eddar* les femmes procèdent de la manière suivante : Mélange manuelle des ingrédients secs, un temps de repos de 10 min de la pâte, un pétrissage de 15min suivie d'un moulage, fermentation (45 min), cuisson (30 min), démoulage et refroidissement.

Une caractérisation physico-chimique des matières premières et rhéologique par l'Alvéographe Chopin de la semoule de blé dur est réalisée. La méthode des surfaces de réponse (MSR) est utilisée pour l'optimisation de la panification sans gluten. Un plan d'expérience central composite (CCD) à deux facteurs (hydratation, Farine pré-gélatinisé) est construit avec le volume spécifique (V_{sp}) comme la seule réponse. Les intervalles des quantités d'eau et FP utilisés sont respectivement [51-115] ml eau et [0-14,10] g FP maïs pour FMF et [45-105] ml eau et [0-12,60] FP riz pour FRF. Les effets de l'hydratation-FP sur le (V_{sp}) du *khobz eddar* sans gluten ont été étudiés. Les points optimums sont caractérisés par analyse d'image et analyse sensorielle et comparées à un pain témoin de blé dur.

Le maxima des deux surfaces de réponse correspond aux couples (115 ml, 7,05g) pour FMF avec un $V_{sp}=2,39\pm 0,02$ cm³/g et aux couple (105 ml, 6,3g) pour FRF avec un $V_{sp}=2,24\pm 0,01$ cm³/g. Ces valeurs de V_{sp} sont inférieures à la valeur du témoin de blé dur (3,64±0,03 cm³/g) de couple (55 ml, 0g) mais supérieures à celles des pains *khobz Eddar* FMF ou FRF sans gluten à 0 g de FP. Après optimisation, les réponses prévues sont $V_{sp} = 2,38 \pm 0,02$ cm³/g pour FMF avec une désirabilité de $d= 0,94$ et $V_{sp} = 2,23 \pm 0,01$ cm³/g pour FRF avec une désirabilité de $d= 0,87$.

Le traitement d'image montre que le nombre des alvéoles de FMF (278) et FRF (241) est supérieur à celle de *khobz Eddar* de blé dur (112). Les alvéoles des trois pains (témoin, FMF et FRF) ont une forme ronde avec un facteur de forme (Sh) proche à 1.

Le test de préférence ont permis de classer *khobz Eddar* sans gluten de la FMF issue du point optimal en deuxième position après le témoin de blé dur et suivi de celui de FRF issue du point optimal. Le test hédonique a montré l'existence d'une différence significative entre les pains sans gluten et le pain *khobz eddar* de blé dur pour tout les descripteurs.

Mots clés : Optimisation, *khobz Eddar* sans gluten, eau, FP maïs, FP riz, volume spécifique.